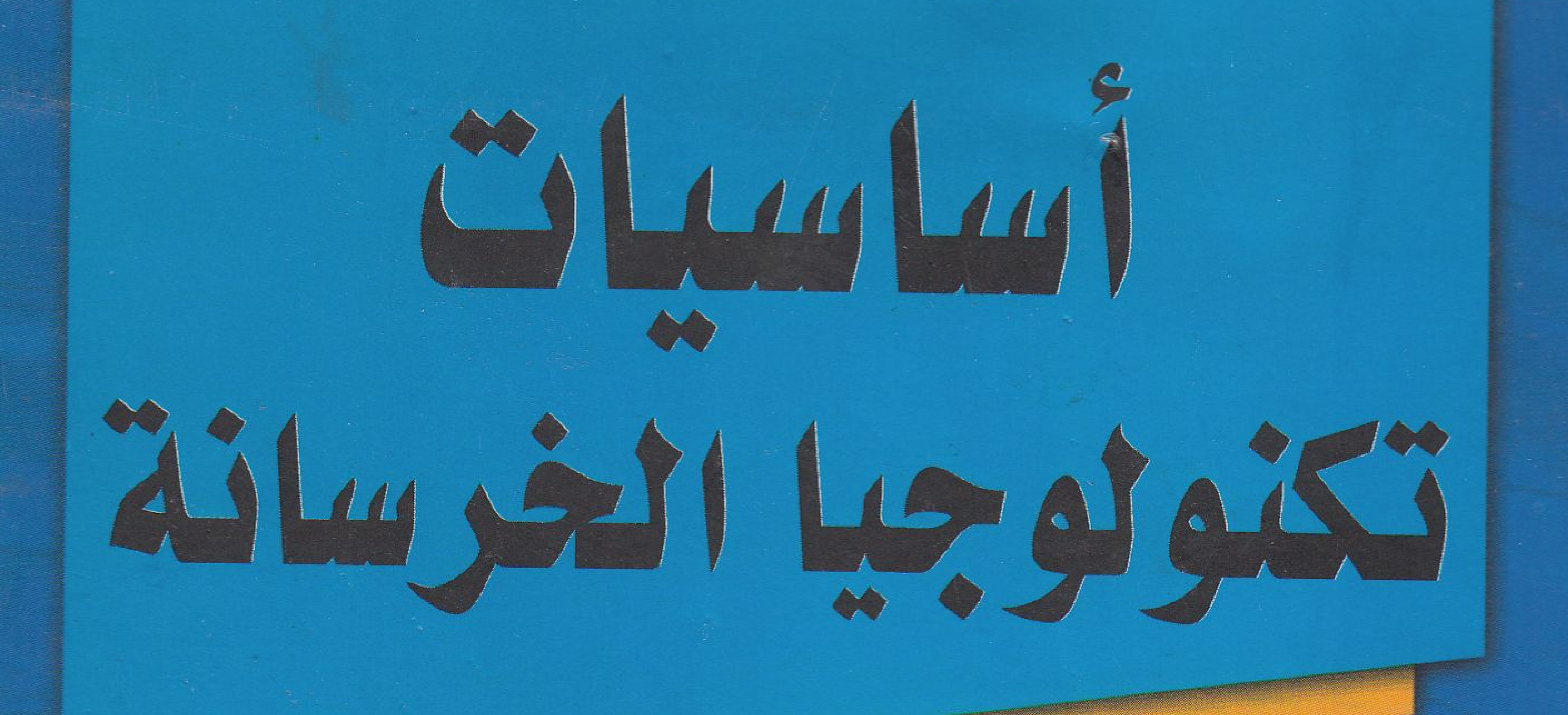


أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

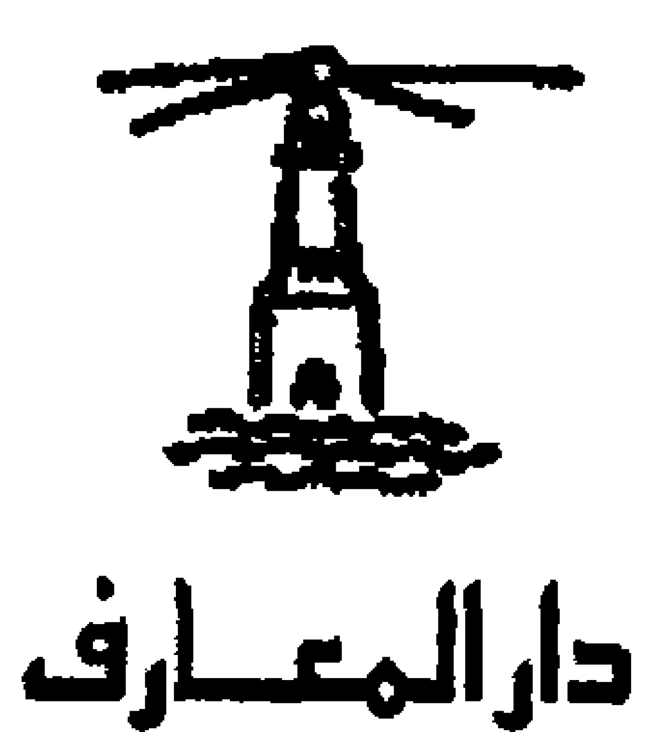
أحمد محمد محمد دياب

دكتوراه فى الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد
أستاذ خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة - جامعة الأسكندرية 2010م

أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور
أحمد محمد محمد دياب
دكتوراه فى الخرسانة المسلحة و الخرسانة سابقة الإجهاد
استاذ خواص واختبار المواد ــ قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة ــ جامعة الأسكندرية 2010 م

تــوزيــع



دارالمعــارف

إهـداء

أهدى هذا الكتاب لمن كان لهم دور مهم فى نشأتى وتعليمى والشد من أزرى.
- إلى روح والدى الطاهرة الحاج محمد دياب.
- إلى روح والدتى الطاهرة.
- إلى زوجتى الغالية.
- إلى أبنائى المهندس / محمد والطبيب / أحمد والمهندس / عبد الرحمن وعبد الحميد.
- إلى إخوتى وخاصة المهندس عطية.
- إلى أساتذتى الذين علمونى.
- إلى جميع أبنائى من المهندسين الذين علمتهم والذين لم أعلمهم .

شكـر

أشكر كل أفراد أسرتى وخاصة زوجتى وابنى الطبيب/ أحمد الذى كان له دور رئيسى فى ظهور هذا الكتاب وشكرى لكل العلماء والزملاء الذين استخدمت أبحاثهم وشكرى لكل المهندسين الذين ساعدونى فى إعداد الكتاب وشكرى للموظفين العاملين بالمكتب الاستشارى الهندسى (دياب) الذين كان لهم دور بارز فى صدور هذا الكتاب.

تقديم

قال تعالى "الحَمْدُ لله الذِى هَدَانَا لِهَذَا وَمَاكُنَّا لِنَهْتَدِىَ لوْلا أنْ هَدَانَا الله"
"وَأمَّا مَنْ خَافَ مَقَامَ رَبِّهِ وَنَهَى النَّفْسَ عَنِ الهَوَى فإنَّ الجَنَّةَ هِيَ المَأوَى" صدق الله العظيم

إن الأمم لتنهض بالأخلاق والعلم وقد شرفنى الله سبحانه وتعالى واختار لى أن أكون أستاذاً أعلم المهندسين واختار لى أساتذة ذوى أخلاق عالية ومنهم د/ حماد يوسف حماد ود/ أحمد شكرى ود/ عادل بركات ومنهم تعلمنا معنى الانتماء والأخلاق وأسأل الله أن يجعل فى هذه الأمة دائماً مُثل طيبة يقتدى بها الناس.

يتضمن هذا الكتاب مواد الخرسانة من ركام وأسمنت وإضافات ويتضمن صناعة الخرسانة وخواصها و فكرة عن اختباراتها و ضبط جودتها.

وقد آثرت أن يكون هذا الكتاب سهلاً مختصراً ليستفيد منه المهندسون ويحتوى هذا الكتاب على المعلومات اللازمة عن الخرسانة العادية وبالنسبة للخرسانات الخاصة مثل الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة ذات الألياف أو الخرسانة عالية الأداء ...... الخ فسوف نتناولها قريباً فى كتاب منفصل إن شاء الله. وكل فصل من الفصول يحتوى على المعلومات الأساسية لموضوعه ، وأمثلة مبسطة وفكرة واقعية مختصرة عن التجارب، ولم نذكر جميع تفصيلات التجارب. ويمكن للمهندس الذى سيعمل فى مجال الاختبارات التعرف على تفاصيل الأجهزة والمعالجة والإعداد والاختبار من المواصفات القياسية. ولقد آثرت إعطاء قيم حدود المواصفات للحكم على المواد أو الخرسانة لكى يستفيد منها المهندس عند التشييد. والكتاب يشتمل على خطوات صناعة الخرسانة، وطرق الخلط والنقل والصب والمعالجة وإصلاح عيوب الصب واستخدام المضخات لصب الخرسانة. كما يشمل الكتاب على كيفية تعامل المهندسين مع الخلطات الخرسانية وطرق تصميمها بالإضافة إلى طريقة اقترحتها على أمل أن تُعتمد مستقبلاً كطريقة مصرية لتصميم الخلطة الخرسانية ويشتمل على تحملية الخرسانة و إضافاتها و مقاومتها و تشكلها و إختباراتها و ضبط جودتها.

وقد راعينا أن نكتب هذا الكتاب بلغة عربية سهلة ومبسطة لكى يتناولها القارئ العربى بسهولة وذكرنا المصطلحات الإنجليزية لكى يتفهم القارئ العربى فى البلدان المختلفة المعنى الحقيقى لأنه قد تختلف المسميات العربية من بلد الى بلد آخر.
وأحب أن ألفت نظر المهندسين الى أن نسبة الانهيار والتصدعات فى المنشآت نتيجة الخطأ فى التصميم أو فى دراسة الأساسات الخاصة بالمنشأ قليله جداً إذا ما قورنت باستخدام مواد غير جيدة فى الخرسانة، أو بصناعة الخرسانة بطريقة غير جيدة. فكلما استخدم المهندس مواد جيدة وصنع خرسانة كثيفة بها أقل نسبة فراغات ممكنة فسوف يعيش المنشأ الخرسانى عمر طويل قبل حدوث شروخ أو تصدع به وأسأل الله أن ينفعكم بهذا الكتاب ونسألكم الدعاء.

حقوق الطبع محفوظة

التعريف بالمؤلف

- حاصل على بكالوريوس الهندسة المدنية من كلية الهندسة جامعة الأسكندرية عام 1978.

- عين معيداً من عام 1978 و حتى عام 1982 فى كلية الهندسة جامعة الأسكندرية قسم الهندسة الإنشائية و كان يعاون فى تدريس مادة خواص و اختبار المواد و ميكانيكا التربة و الأساسات.

- حاصل على درجة الماجستير فى الهندسة الإنشائية فى مجال المواد فى موضوع خواص الخرسانة ذات الألياف.

- عين مدرساً مساعداً من عام 1982 و حتى 1986.

- حاصل على الدكتوراه فى مجال الخرسانة المسلحة و الخرسانة سابقة الإجهاد من الجامعة التكنيكية بلودز ببولندا عام 1986 فى موضوع:
Shear Strength of Partially Prestressed Reinforced Concrete Beams

- عين مدرساً فى قسم الهندسة الإنشائية بهندسة الأسكندرية عام 1986. و فى عام 1989 قام بالتدريس فى جامعة بيروت العربية.

- عين أستاذاً مساعداً فى عام 1992 و عين أستاذاً لخواص واختبار المواد بقسم الهندسة الإنشائية بهندسة الأسكندرية عام 1997.

- عضو الكود المصرى لتصميم و تنفيذ المنشأت الخرسانية رقم 203 فى عامى 2001و 2007 فى لجان خواص المواد و الخرسانة سابقة الإجهاد و لجنة الصياغة عام 2001.

- عضو الكود المصرى لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشيد (كود 208) فى اللجنة الدائمة ولجنة الأسس ولجنة الصياغة والمراجعة ولجنة خواص المواد ولجنة التحمل.

- عضو الكود المصرى لتصميم وتنفيذ أعمال المبانى كود 2004.

- عضو كود الكبارى (تحت الإعداد).

- عضو مواصفات الخرسانة فى الأجواء الحارة.

- عضو لجنة مواد البناء بأكاديمية البحث العلمى.

- محكم فى اللجنة الدائمة للهندسة الإنشائية و التشييد لترقية الأساتذة و الأساتذة المساعدين.

- صاحب المكتب الاستشارى (ديـــــــاب).

- قام بتدريس مواد خواص واختبار المواد و التفتيش و ضبط الجودة و ترميم المنشأت و هندسة التشييد و أساسيات إدارة أعمال التشييد و تكنولوجيا الخرسانة.

مقدمة ونظرة تاريخية

تقاس نهضة الأمم بنهضتها العلمية والعمرانية والمحافظة على منشآتها. و فى العصور الأولى استفاد الإنسان من الموارد الطبيعية فى البناء وقد استخدم الإنسان الأحجار أو الطوب اللبن بعد تجفيفه فى البناء باستخدام مادة لاحمة وهى خليط الطين والماء ولقد استخدم المصريون القدماء الطين بعد إضافة الألياف الطبيعية (تبن القمح) للطوب اللبن والطين لملاشاة التأثيرات السلبية للانكماش.

وقد استخدم الإغريق والرومان خليط من الجير ومادة البوزولانا كمادة رابطة. وفى نهاية القرن الثامن عشر بدأ الإنسان فى اكتشاف الأسمنت (مثل جون سميتون ، فيكات). وفى بداية القرن التاسع عشر تم إنتاج الأسمنت، وهو مادة تتصلب عند اتحادها بالماء، وسمى الأسمنت بالأسمنت البورتلاندى. وفى نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأ استخدام الخرسانة المسلحة حيث يتم وضع أسياخ صلب فى الأماكن التى تتعرض لإجهادات الشد. ولفظ الخرسانة يطلق على خليط من كسر الأحجار والرمل والأسمنت والماء. وكلمة Concrete يطلق عليها لفظ الخرسانة فى مصر أو لفظ البيتون فى بعض البلدان العربية. ويطلق على كسر الأحجار الركام الكبير وفى بعض البلدان العربية يطلق عليها لفظ البحص. وفى العقد الرابع والخامس من القرن الماضى اكتشف الإنسان البوليمرات وأحماض الليجنوسلفونات ومنها عرف كيفية إنتاج إضافات الخرسانة والذى انتشر استخدامها فى العقد السادس من القرن الماضى حيث أنه فى الأغلب يتم إنتاج خرسانة مضاف اليها مواد ملدنة أو عالية التلدين ، وتطورت صناعة الخرسانة من خرسانة مقاومتها فى الضغط فى حدود 300 كجم/سم^2 إلى خرسانة عالية المقاومة (أكبر من 400 كجم/سم^2) إلى خرسانة فائقة المقاومة (أكبر من 1000 كجم/سم^2) وتم إنتاج الخرسانة ذات الألياف والخرسانة ذاتية الدمك والخرسانة عالية الأداء. وهناك دائماً الجديد فى عالم الخرسانة ويجب على المهندس متابعة هذا التطور دائماً.



الباب الأول

ركام الخرسانة (Concrete Aggregate) ....(1)

الباب الثانى
الأسمنت (Cement) ....(39)

الباب الثالث
الخرسانة الطازجة (Fresh Concrete) ....(71)

الباب الرابع

صناعة الخرسانة (Concrete Manufacture)....(91)

الباب الخامس

تصميم الخلطة الخرسانية (Concrete Mix Design) ....(121)

الباب السادس

تحمل الخرسانة (Durability of Concrete) ....(165)

الباب السابع
مقاومة الخرسانة (Concrete Strength) ....(197)

الباب التاسع

تشكل الخرسانة (Deformation of Concrete) ....(233)

الباب العاشر
اختبارات الخرسانة المتصلدة
(255)…. (Testing of Hardening Concrete)

الباب الأول
ركام الخرسانة (Concrete Aggregate)

1ـ1 عام :

يمثل الركام حوالى من 75 إلى 80% من مكونات الخرسانة. ومن أهم الخواص المطلوبة فى الركام أن يكون خاملاً، لا يتفاعل مع عجينة الأسمنت (Cement Paste)، حتى لا يحدث تغير حجمي والخرسانة متصلدة ، مما قد يؤدى إلى تفتت الخرسانة. ومن المعلوم أن الركام خواصه تؤثر على خواص الخرسانة. فلا يمكن الحصول على خرسانة جيدة دون استخدام ركام جيد وسنستعرض فى مايلى أنواع وخواص الركام .

2ـ1 تقسيم الركام (Classification of Aggregate):

1ـ التقسيم طبقا للمصدر (According to Source):

- الركام الطبيعى:

وهوالركام الذى يؤخذ من الطبيعة. وإما يستخدم كما هو مثل الزلط ، أويتم تكسيره واستخدامه مثل كسر أحجار الدولوميت.

- الركام الصناعى:

وهوالركام الذى يتم صناعته مثل ركام الليكا. وهوناتج من حرق طفل قابل لإخراج غازات عند الحرق أوتضاف مادة محدثة للغازات داخل الفرن ، مما يسمح بزيادة الحجم ، ثم يتم تبريده وتكسير الركام المتكون لنحصل على مادة خفيفة تقل كثافتها عن 0.5 طن/م^3 تستخدم لإنتاج طوب خفيف . كما أنها تستخدم أيضاً لإنتاج الخرسانة الخفيفة.

ويمكن أن يكون الركام منتج ثانوى لصناعة معينة (By-product) مثل خبث الحديد الناتج من صناعة الحديد ، والذى يتم تخفيف كثافته بتعريضه لبخار ماء. ويستخدم لإنتاج خرسانة خفيفة إنشائية.

2ـ التقسيم بناء على شكل الحبيبات (According to Particle Shape):

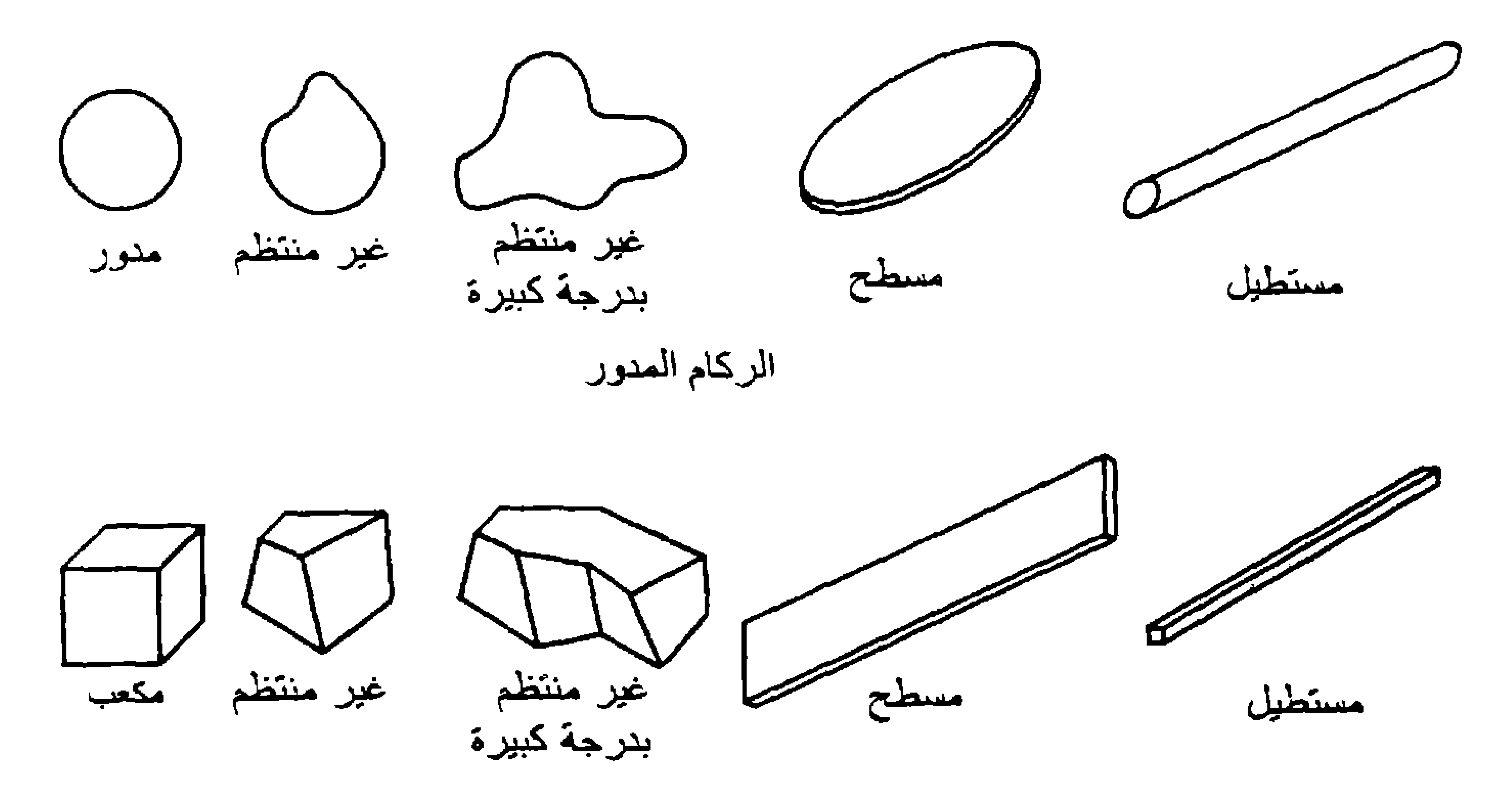
يلاحظ أن الركام قد يأخذ شكل حبيباته عدة أشكال. وهو غالباً إما أن يكون دائرى (الركام الطبيعى)، أو زاوى (كسر الأحجار). وشكل (1ـ1) يحتوى على الأشكال المتوقعة فى الموقع. وعموماً فالشكل الدائرى ومشتقاته يعطى خرسانة أسهل تشغيلاً من الشكل الزاوى. وعموماً فإن الركام الذى يتم توريده يحتوى على حبيبات مدوره وغير منتظمه ومسطحه ومستطيله ، وكلما قلت نسبة الركام المسطح والمستطيل تتحسن جودة الركام .

3ـ التقسيم بناء على وحدة وزن الركام (According to Unit Weight):

حيث يقسم الركام لركام خفيف (وحدة وزنه أقل من 1.12 جم/سم^3)، وركام عادى (وحدة وزنه أكبر من 1.50 وأقل من 1.75 جم/سم^3)، وركام ثقيل (وحدة وزنه أكبر من 2.8 جم/سم^3).

4ـ التقسيم بناء على الملمس (Texture):

ينقسم الركام الى مزجج (Glassy) مثل الصوان، ناعم (Smooth) مثل الرمل والزلط، محبب (Granular) مثل الحجر الرملى، خشن (Rough) مثل الحجر الجيرى، بللورى (Crystalline) مثل الجرانيت، مسامى (Honey Comb) مثل الليكا.



الركام الزاوى

شكل (1ـ1) الأشكال المتوقعة للركام

5ـ التقسيم بناء على مقاس الحبيبة (Particle Size):

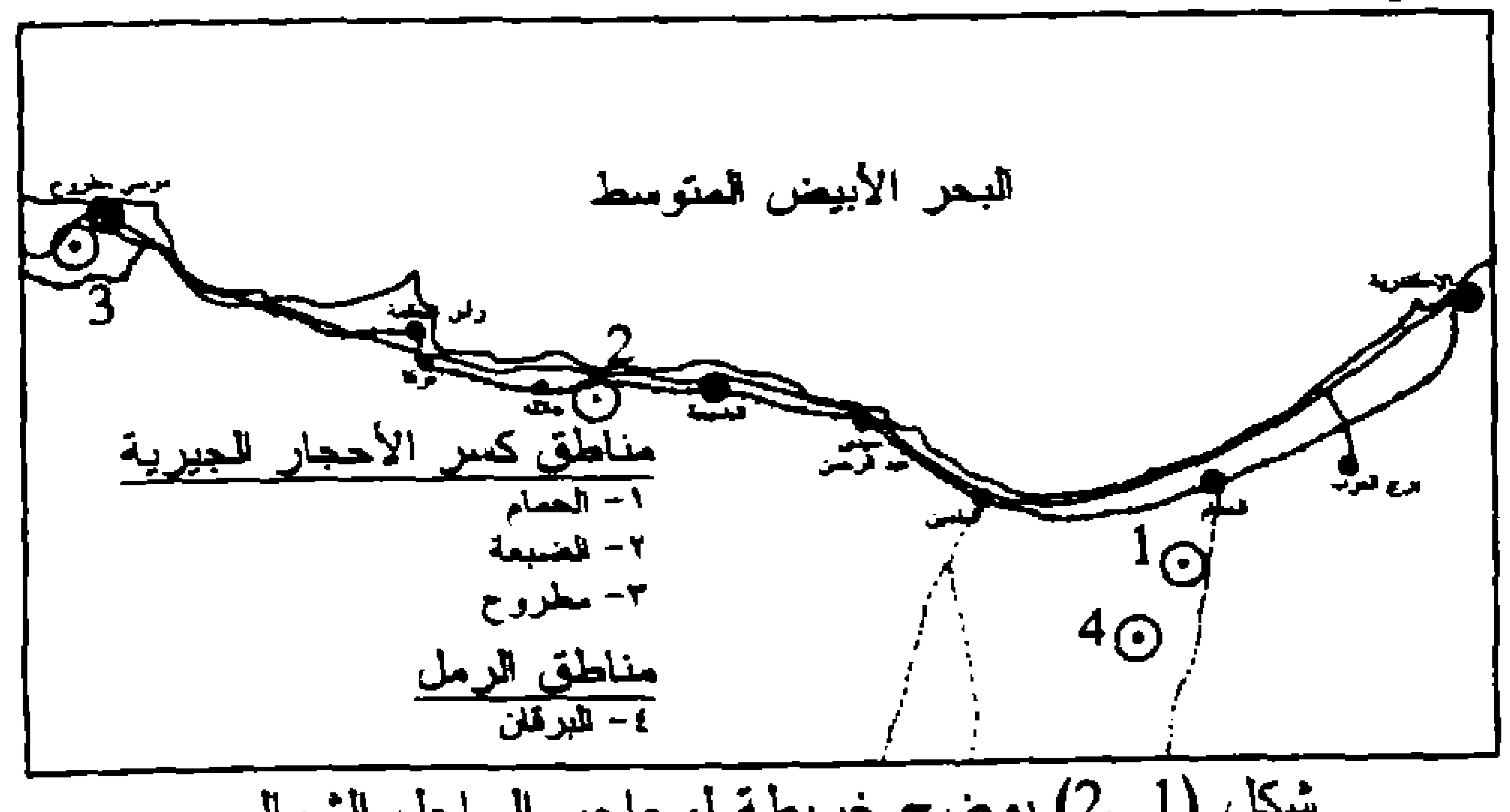
يقسم إلى ركام كبير (Coarse Aggregate)، تكون مقاس حبيباته أكبر من 4.75 مم مثل الزلط وكسر الأحجار، وركام صغير (Fine Aggregate) وهوالذى مقاس حبيباته أقل من أويساوى 4.75مم مثل الرمل، والركام الشامل (All-in Aggregate) وهوخليط من الركام الكبير والصغير مثل خليط من الزلط والرمل.

3ـ1 المحاجر والكسارات (Quarries and Crushers):

شكل (1ـ2)& (1ـ3) يوضحان محاجر بعض أنواع الركام فى مصر سواءً للساحل الشمالى أو لباقى مصر. وتوجد عدة محاجر أخرى للدولوميت والبازلت.

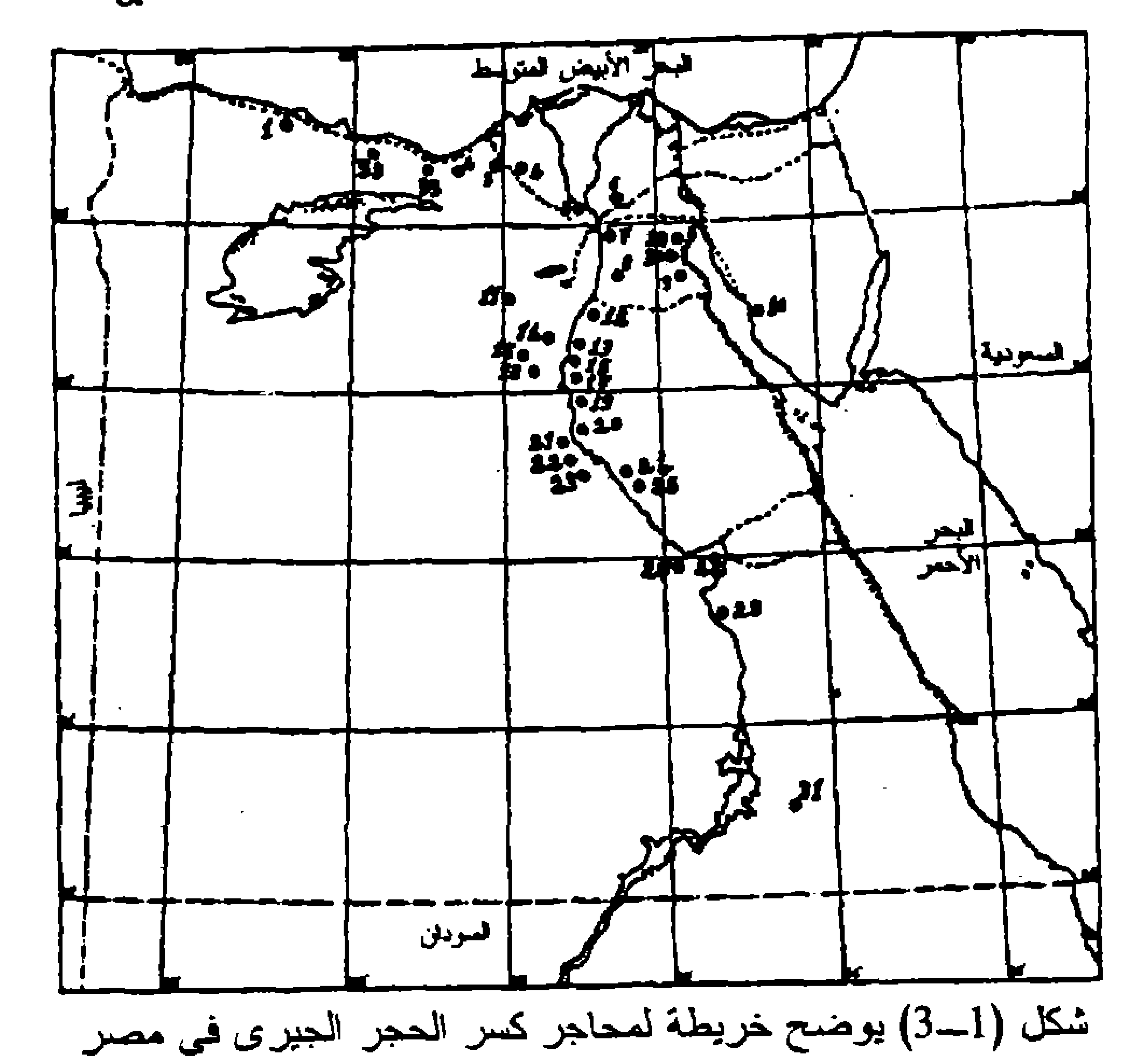
ولإنتاج الركام من الأحجار تستخدم الكسارات والتى يوجد منها عدة أنواع نلخصها فيما يلى:

*الكسارات الفكية (Jaw Crushers): ومنها مزدوجة الذراع ومفردة الذراع ذات الضغط لأعلى ومفردة الذراع ذات الضغط لأسفل. وشكل (1-4) يوضح كسارة فكية مفردة الذراع ذات الضغط لأعلى.

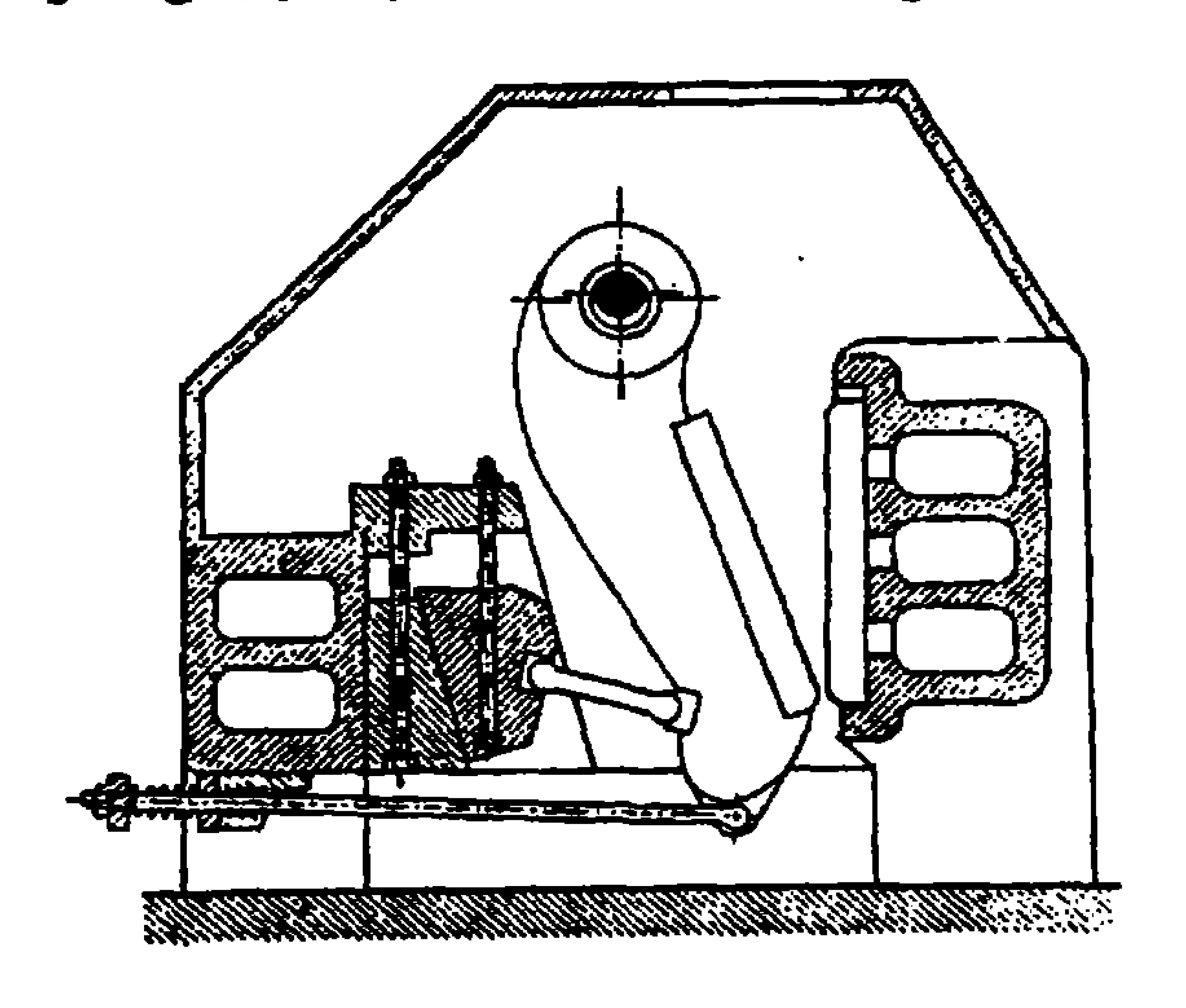


شكل (1ـ2) يوضح خريطة لمحاجر الساحل الشمالى

1- مرسى مطروح
2- الحمام
3- مريوط
4- علم المركب
5- أبو رواش
6- عجران الفول
7- المقطم
8- الصف
9- السخنة
10- أبو زنيمة
11- المساخيط
12- بنى سويف
13- شرق الفشن
14- غرب الفشن
15- مزيت أمير
16- البهنسة
17- بنى خالد
18- شوشة
19- بنى حسن
20- العمارنة
21- خشبة
22- بنى عدى
23- بنى غالب
24- الخوالد
25- حمامية
26- جارنه
27- أبو النور
28- الشراونة
29- حتالة
30- أدبية
31- علاقى
32- الضبعة
33- العلمين

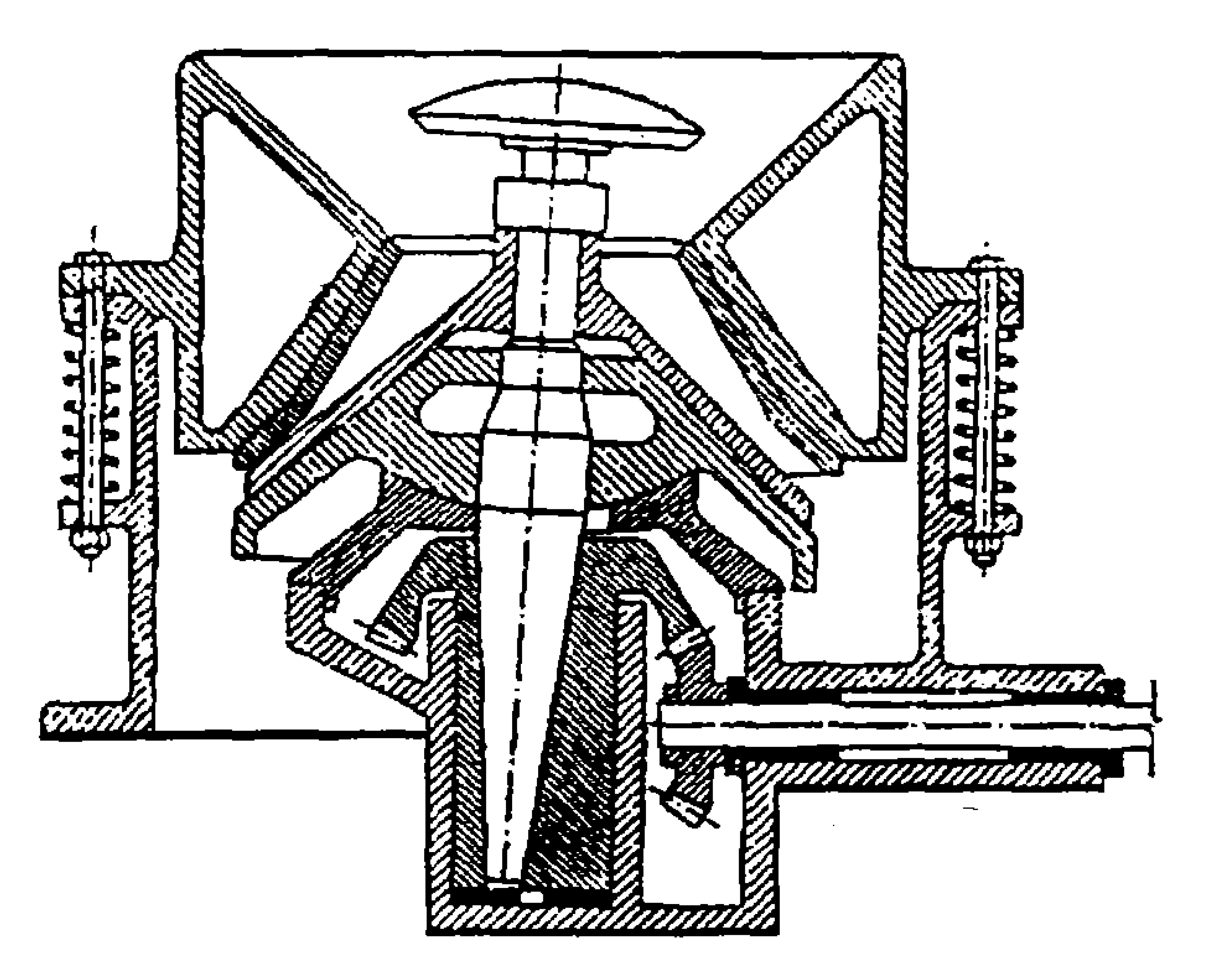


شكل (1ـــ3) يوضح خريطة لمحاجر كسر الحجر الجيرى فى مصر



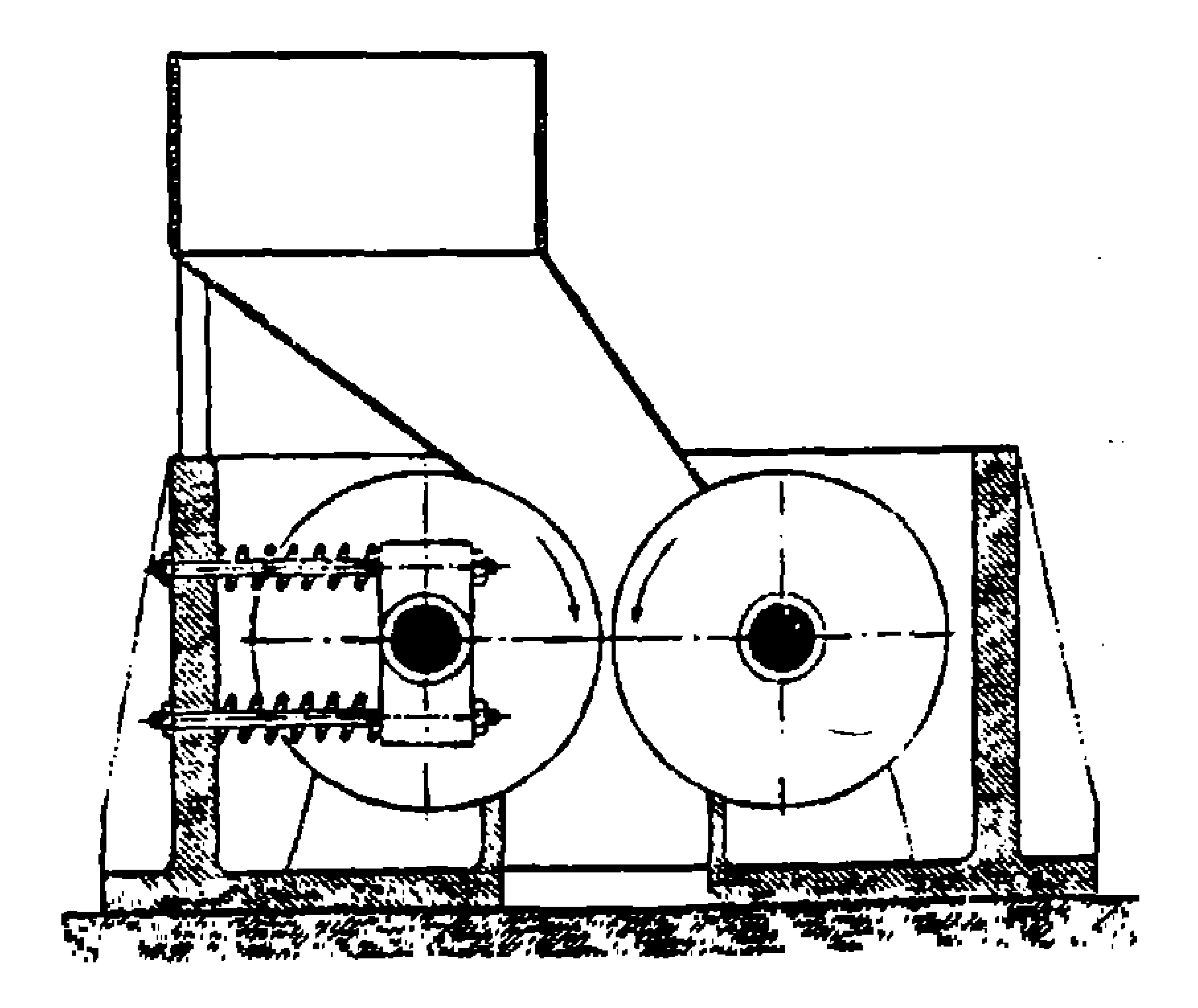
شكل (1ـــ4) كسارة فكية مفردة الذراع

- الكسارة المخروطية أو الدوارة (Cone or Gyrator Crusher): حيث يتم تكسير الركام بين الرأس المخروطى او الدائرى و السطح المقعر المقابل. وشكل (1ـ5) يوضح مثال لتلك الكسارة.



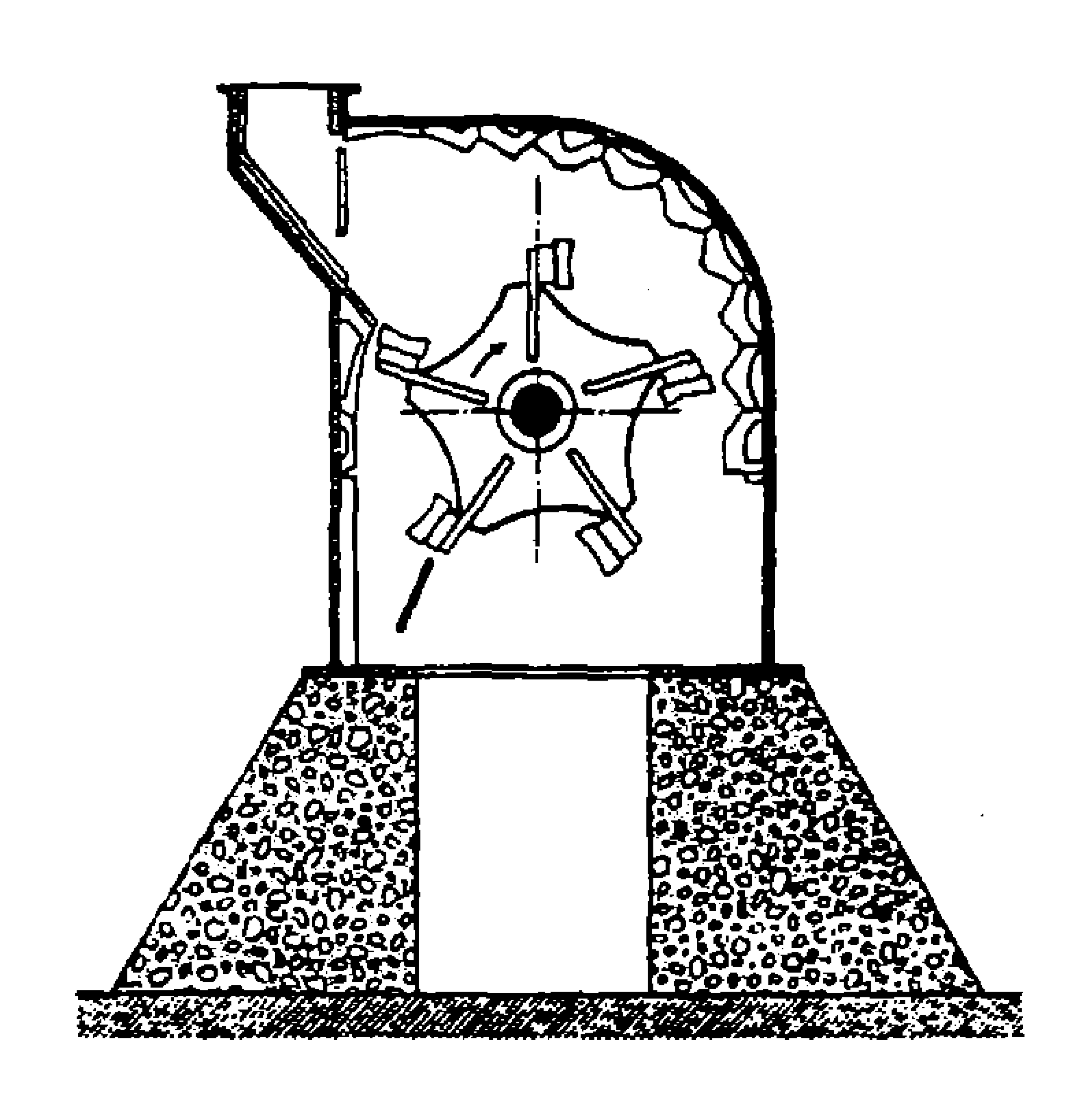
شكل (1ـ5) الكسارة المخروطية أو الدوارة

- الكسارة الاسطوانية الدوارة (Roll Crusher): وهى إما اسطوانة دوارة لتكسير الركام المحصور بلوح ثابت، أو تكسير الركام بدوران اسطوانتين عكس بعضهما مع ترك مسافة صغيرة بينهما لدخول الركام. وشكل (1ـ6) يوضح مثال لتلك الكسارة.

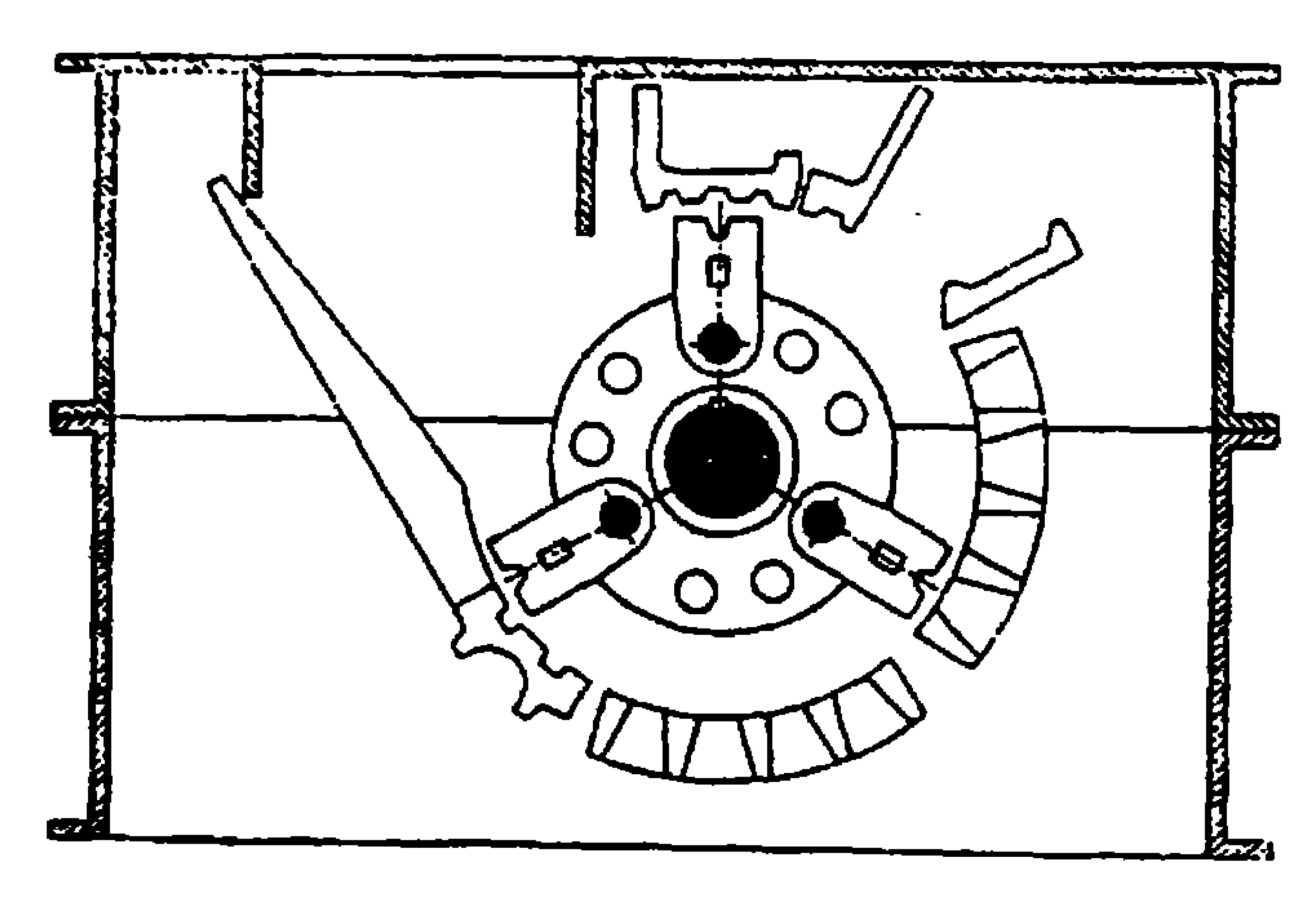


شكل (1ـ6) الكسارة الاسطوانية الدوارة

- الكسارات ذات المطرقة (Hammer crusher): ويوجد منها مطرقة ثابتة (Fixed Hammer)، ومطرقة متأرجحة (Swing hammer). حيث يتم تكسير الركام بتعريضه للصدم بالمطرقة. والشكلان (1ـ7) &(1ـ8) يوضحان الكسارتين السابقتين على الترتيب.



شكل (1ـ7) الكسارة ذات المطرقة الثابتة



شكل (1ـ8) الكسارة ذات المطرقة المتأرجحة

ومن خلال الخبرة المكتسبة من المواقع، لوحظ أن الكسارات المخروطية تنتج حبيبات ركام أقل جودة من الكسارات الأخرى من حيث شكل الركام المكسر. أما الكسارات ذات المطرقة فتعطى أفضل أشكال للركام المكسر عند مقارنتها بباقى الكسارات.

1ــ4 تدرج الركام (*Grading of Aggregate*):

1ــ4ــ1 التعريف و المناخل:

هى الخاصية التى تعبر عن تواجد المقاسات المختلفة من الركام، بحيث تتداخل الحبيبات ذات المقاسات الصغيرة داخل الحبيبات ذات المقاسات الكبيرة. ويتم الحكم عليها من خلال مناخل ذات مقاسات قياسية لكل من الركام الكبير والركام الصغير. ومقاسات المناخل القياسية طبقاً للــASTM للركام الكبير هــى $\frac{3}{16}$، $\frac{3}{8}$، 0.53، $\frac{3}{4}$، 1.00، 1.25، 1.50 بوصة. وتوجد أيضاً مناخل أخرى. أما مقاسات الركام الكبير للكود المصرى والــB.S. هــى $\frac{3}{16}$، $\frac{3}{8}$، 0.50، $\frac{3}{4}$، 1.00، 1.50، 2.00 بوصة. وتوجد مناخل أخرى مساعدة بين تلك المناخل. أما بالنسبة للرمل، فنظراً لصغر مقاس الحبيبة، فيسمى المنخل بعدد الفتحات الموجودة فى البوصة الطولية، وذلك لتسهيل التعامل مع المناخل فى المعامل.

والمناخل القياسية للرمل سنذكرها فى ما يلى بذكر رقم المنخل وبين قوسين قطر الحبيبة:

- مناخل ASTM:

  رقم 4 (4.75مم)، 8 (2.36 مم)، 16(1.18 ميكرومتر)، 30 (600 ميكرومتر)، 50 (300 ميكرومتر)، 100(150 ميكرومتر).

- مناخل المواصفات المصرية والبريطانية:

  $\frac{3}{16}$"، 7 (2.36 مم)، 14(1.18 مم)، 25(600 ميكرومتر)، 52(300 ميكرومتر)، 100 (150 ميكرومتر).

1ــ4ــ2 اختبار التدرج الحبيبى (اختبار التحليل المنخلى):

خطوات الاختبار مذكورة فى نهاية الباب. ويتم وضع الركام أعلى المناخل ثم يتم النخل إما يدويا أوميكانيكيا بواسطة هزّاز، ويحدد الوزن المحجوز (Retained) على كل منخل، ثم تحسب النسبة المئوية للمحجوز الكلى، وهو عبارة عن % لوزن الركام المحجوز لكل المناخل ذات المقاس الأكبر من مقاس المنخل + % للمحجوز على المنخل، وهى تعنى النسبة المئوية لكل الركام ذى المقاس الأكبر من أو يساوى هذا المقاس. وكمثال إذا حسبت النسبة للمحجوز الكلى 60% لمنخل ($\frac{3}{4}$ بوصة)، فهذا يعنى أن 60% من الركام مقاسه أكبر من ($\frac{3}{4}$ بوصه). وإذا كانت تلك النسبة صفر فى المائة، فهذا يعنى أنه لا يوجد ركام مقاسه أكبر من ($\frac{3}{4}$ بوصه). يتم حساب النسبة المئوية للمار، وهى لمنخل معين = 100 – النسبة المئوية للمحجوز الكلى لهذا المنخل. وجدول (1ــ1) يحتوى على مثال لنتيجة اختبار تدرج حبيبى لرمل معين. وجدول (1ــ2) يحتوى على تدرج حبيبى لركام كبير.

جدول (1ــ1) حسابات اختبار تدرج حبيبى لرمل

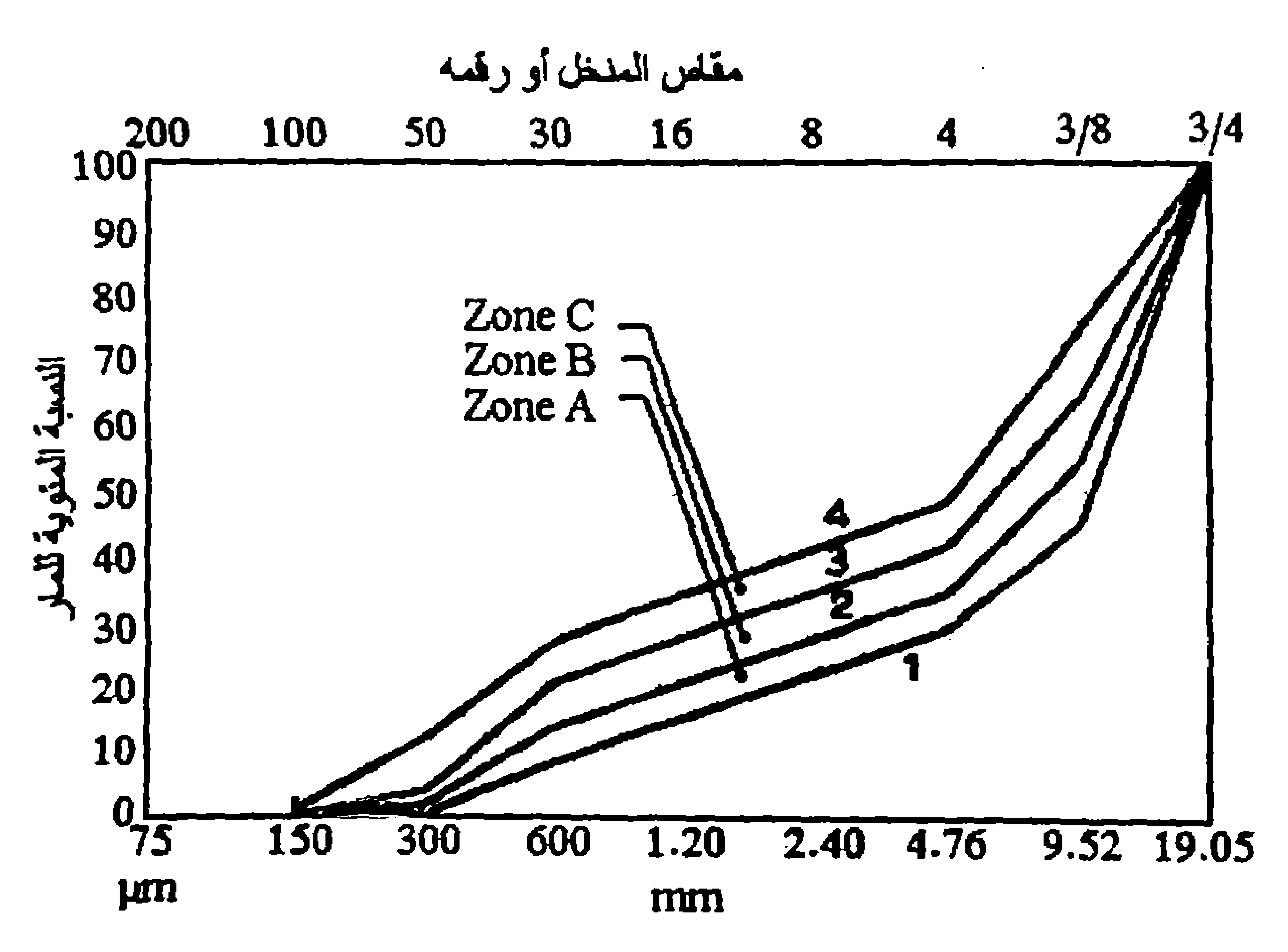
رقم المنخل	الوزن المحجوز (جم)	% للمحجوز	% للمحجوز الكلى	% للمار
4	6	2.14	2.14	98
7	45	16.00	18.14	28
14	40	14.30	32.44	68
25	69	24.64	57.08	43
52	110	39.30	96.38	4
100	5	1.80	98.80	1
الإناء	5	1.80		
وزن العينة	280			

* يفضل تقريب الكسور لعدد صحيح

جدول(1ـــ2) مثال لحسابات تدرج حبيبى لزلط

مقاس منخل (بوصة)	المحجوز (جم)	% للمحجوز	% للمحجوز الكلى	% للمار
1.50	صفر	صفر	صفر	صفر
1.00	400	4	4	96
0.75	3200	32	36	64
0.50	4000	40	76	24
8\3	1300	13	89	11
16\3	1000	10	99	1
الإناء	100	1	—	—

وللزلط المذكور فى جدول (1ـــ2) نجد أن نسبة المار من منخل 1\2 بوصة = 24%. وهذا يعنى أن الزلط المورد نسبة الحبيبات التى مقاسها أقل من 1\2 بوصة فيه تمثل 24% من وزن الركام، بينما نسبة الحبيبات الأكبر من 1\2 = 76%. ويمكن رسم منحنى لنتائج اختبار التحليل المنخلى كما فى شكل (1ـــ9).



شكل (1ـــ9) مثال لتدرج الركام و حدود BS

1ـــ4ـــ3 المقـــاس الاعتبـــارى الأكبـــر للركـــام (Maximum Aggregate Size)

ومعلومات عامة:

يستخدم المقاس الاعتبارى الأكبر للتعبير عن مقاس الحبيبات الكبيرة العامة فـــى الركـــام الكبير. ويعرف بأنه مقاس أصغر فتحة منخل تسمح بمرور 95% على الأقل مـــن الركـــام. وتوجد بعض المواصفات قد تسمح بأن تصل هذه النسبه إلى 90% فى حالة الركام الكبير ذى المقاس الصغير. فعندما يذكر أحد أنه قد تم توريد زلط مقاسه 40 مم، فهذا يعنى أن 95% من هذا الزلط مقاسه أقل من 40 مم، وأنه غير مناسب بالطبع لصب كمرة عرضـــها 100 مـــم،

والمسافة بين أسياخ صلب التسليح 15 مم، لأن المسافة بين أسياخ تسليح الكمرة ستكون أقل من مقاس الركام وبذلك لا يمكن صب الخرسانة. وعموما فإن أغلب المواصفات والكودات توصى بأن يتم اختيار الركام الكبير بحيث يكون مقاسه الاعتبارى الأكبر أقل من أو يساوى $^{1}\backslash_{5}$ أقل بعد للعضو الإنشائى المصبوب، وبحيث لا يزيد عن ($^{2}\backslash_{3}-^{3}\backslash_{4}$) المسافة الخالصة من أسياخ صلب التسليح حتى نضمن صب جيد للخرسانة.

جدول (1ـــ3) % للمار لعدة أنواع من الزلط

مقاس المنخل	1.50"	1.00"	0.75"	0.50"	3\8"	3\16"
زلط أ	100	100	100	95	40	5
زلط ب	95	80	60	30	20	1
زلط ج	98	95	50	30	10	1.5

جدول (1ـــ3) يحتوى على النسبة المئوية للمار لثلاثة أنواع مختلفة من الزلط ومنها يتضح أن المقاس الاعتبارى الأكبر للزلط أ ، ب ، ج هى 0.50 و1.50 و1.00 بوصة على الترتيب.

بناءً على ما سبق يتضح أنه كلما قل المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير، تقل أبعاد الحبيبات وتزيد مساحته السطحية لوحدة الوزن .

ويجب أن نذكر باختصار أن مقاومة الخرسانة للضغط تتحسن كلما قل محتوى الماء المطلوب لإنتاج 1 م^{3} خرسانة عند محتوى أسمنت معين؛ أى تقل المقاومة مع زيادة نسبة الماء للأسمنت. وعلى ذلك فإن أى عامل يزيد من ماء الخلط، فإنه سيقلل المقاومة. ويجب على المهندس العلم بأن الماء المضاف له وظيفتين رئيسيتين؛ الأولى هى أن جزء من الماء يتحد مع الأسمنت لكى يعطى للخرسانة صلابتها ومقاومتها، و الثانية أن الماء هو الذى يعطى الخرسانة القابلية للصب (التشغيلية) بدون ظهور عيوب فى العضو الخرسانى. ومن المفضل أن يغلف ماء الخلط جميع المساحة السطحية لمكونات الخرسانة. وعلى ذلك فإن زيادة المساحة السطحية للركام الكبير أو الرمل تتطلب ماء زائد مما يقلل المقاومة.

و يؤثر المقاس الاعتبارى الأكبر على مقاومة الخرسانة، ويتوقف ذلك على محتوى الأسمنت فى الخلطة ومستوى المقاومة المطلوبة. إن استخدام ركام كبير ذو مقاس 2" و3" فى الخرسانة الفقيرة بالأسمنت (الخرسانة العادية) يحسن من مقاومة الضغط إذا ما قورن باستخدام الركام الكبير ذو المقاسات الصغيرة مع تثبيت محتوى الأسمنت. للخرسانة المسلحة فإنه لا يفضل زيادة مقاس الركام عن 40 مم، لأن المقاومة المطلوبة تكون متوسطة أو كبيرة، وزيادة المقاس تؤدى إلى تركيز الإجهادات، كما أنه كلما زاد مقاس الحبيبة تكون مقاومة ضغط الحبيبة أقل، نظراً لزيادة احتمال وجود مناطق ضعف فى تلك الحبيبة.

وللأسباب السابقة، إذا أراد المهندس الحصول على مقاومة ضغط للخرسانة أكبر من 700 كجم/سم^{2}، فعليه اللجوء إلى ركام كبير فى حدود أو أقل من $^{1}\backslash_{2}$.

1ــ4ــ4 مُعاير نعومة الرمل (Fineness Modulus):

يستخدم هذا المُعاير فى أغلب دول العالم للتعريف بنوعية الرمل المورد للموقع. وكلما زاد هذا المعاير، فإنه يعطى دلالة على أن الرمل خشن. فعندما نذكر أنه تم توريد رملين معاير نعومتهما 3.0، 2.0 فمعنى ذلك أن الرمل الأول أخشن من الرمل الثانى.

$$\text{وعموماً فإن معاير النعومة} = \frac{\text{مجموع النسب المئوية التجميعية للمناخل القياسية للرمل}}{100}$$

وهو يعبر عن القطر المتوسط لحبيبات الرمل تقريبا بالمليمتر.
وجدول (1ــ4) يوضح مثال لحساب معاير نعومة الرمل.

جدول (1ــ4) حساب معاير نعومة الرمل

مقاس المنخل	4	7	14	25	52	100	مجموع
% للمار	100	90	50	25	13	5	
% للمحجوز الكلى	صفر	10	50	75	87	95	317

* معاير نعومة الرمل = 317\100 =3.17

وكلما قل معاير نعومة الرمل، يزيد محتوى ماء الخرسانة لتحقيق درجة تشغيلية معينة للخرسانة، فتقل مقاومة الخرسانة لنفس محتوى الأسمنت. ولذلك يُنصح باستخدام الرمل الخشن فى الخرسانة.

1ــ4ــ5 المواصفات القياسية للتدرج الحبيبى:

تضع المواصفات القياسية للدولة الحدود التى يجب أن يحققها الرمل أوالركام الكبير. وتوضع حدود الرمل فى المواصفات المصرية و B.S.882:1973 كدالة من 4 مناطق؛ المنطقة الأولى للرمل عالى الخشونة، و لمنطقة الثانية للخشن، والمنطقة الثالثة للرمل المتوسط الخشونة والناعم، والمنطقة الرابعة للرمل الناعم جداً (المناطق 1، 2، 3، 4). وتعطى حدود الركام الكبير كدالة من المقاس الاعتبارى الأكبر. جدول (1ــ5) يوضح حدود متطلبات المواصفات العالمية والمصرية للرمل.

جدول (1ــ5) يحتوى على % للمار للرمل لمتطلبات المواصفات المختلفة

منخل ASTM رقم	ASTM % للمار	منخل المصرية B.S.	% للمار للمنطقة (مصرى و B.S.)			
			1	2	3	4
8\3	100	9.5 مم	100	100	100	100
16\3	100-90	4.75 مم	100-95	100-90	100-90	100-95
8	100-80	2.36 مم	95-60	100-75	100-85	100-95
16	85-50	1.18 مم	70-30	90-55	100-75	100-90
30	60-25	600 ميكرومم	34-15	59-35	79-60	100-80
50	30-10	300 ميكرومم	20-5	30-8	40-12	50-15
100	*10-2	100 ميكرومم	*10-0	*10-0	*10-0	*10-0

* للركام الصغير الناتج من كسر الحجر الجيرى تسمح المواصفات بزيادة هذه النسبة إلى 20%.

ويرى المؤلف أن المنطقة (4) تحتوى على رمل ناعم جداً يمكن استخدامه فى الخرسانة العادية فقط وليس فى الخرسانة المسلحة. ويجب أن يحقق الركام تلك الحدود بأن يقع داخل الحدود أو عليها.

وسنتناول فى ما يلى متطلبات ASTM والمواصفات المصرية والبريطانية للركام الكبير:

- حدود ASTM C33-78 للركام الكبير موضحه بجدول (1ــ6)

جدول رقم (1ـ6) حدود ASTM C33-78 للركام الكبير

مقاس اعتبارى أكبر بوصة	˝2	˝1.5	˝1	˝4/3	˝2/1	˝8/3	˝16/3	8	16
من ˝2 الى منخل رقم 4	100-95	—	70-35	—	30-10	—	5-0	—	—
من ˝1.5 الى منخل رقم 4	100	100-95	—	70-35	—	30-10	5-0	—	—
من ˝1 الى منخل رقم 4	—	100	100-95	—	60-25	—	10-0	5-0	—
من ˝4/3 الى منخل رقم 4	—	—	100	100-90	—	55-20	10-0	5-0	—
من ˝2/1 الى منخل رقم 4	—	—	—	100	100-90	70-40	15-0	5-0	—
من ˝8/3 الى منخل رقم 8	—	—	—	—	100	100-85	30-10	10-0	5-0

- حدود المواصفات المصرية للركام الكبير:

جدول (1ـ7) يحتوى على حدود المواصفات المصرية والـB.S.882:1973.

جدول رقم (1-7) حدود القبول والرفض للركام الكبير

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية المارة بالوزن						
	ركام متدرج (مم)			ركام بمقاس مفرد(مم)			
	5 - 40	5-20	5-10	40	20	14	10
50.00	100	—	—	100	—	—	—
37.50	100-90	100	—	100-85	100	—	—
20.00	70-35	100-90	100	25-0	100-85	100	—
14.00	—	—	100-90	—	—	100-85	—
10.00	40-10	60-30	85-50	5-0	25-0	50-0	100
5.00	5-0	10-0	10-0	—	5-0	10-0	50-100
2.36	—	—	—	—	—	—	30-0

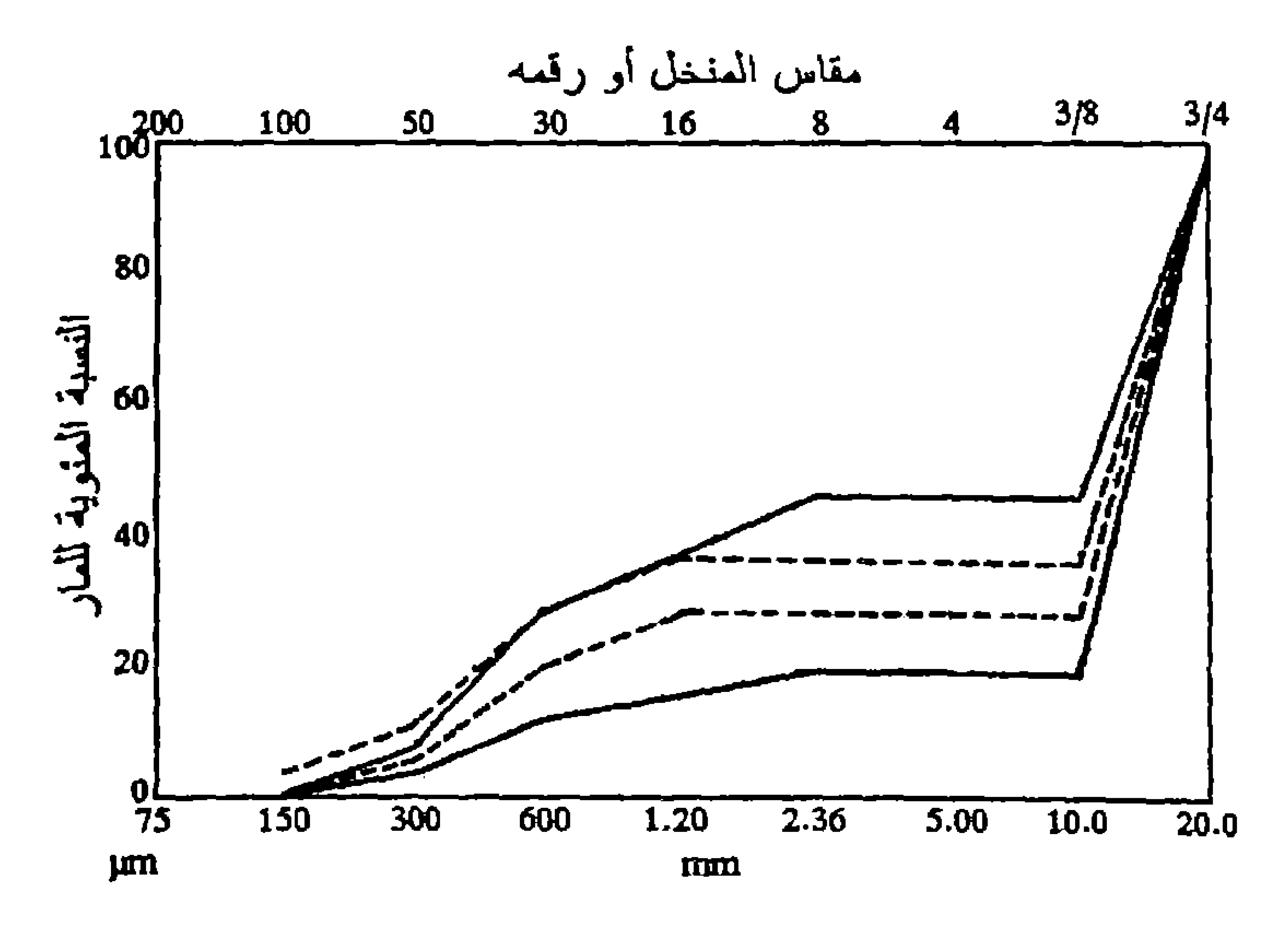
وتنص المواصفات المصرية على حدود للركام الشامل (خليط من الركـام الكبيـر والركام الصغير)، كما فى جدول (1ـ8).

جدول رقم (1-8) حدود القبول والرفض للركام الشامل

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية للمار من المنخل		
	المقاس الإعتبارى 40مم	المقاس الإعتبارى 20مم	المقاس الإعتبارى 10مم
50.00	100	——	——
37.50	100-95	100	——
20.00	80-45	100-95	——
14.00	——	——	100
10.00	——	——	100-95
5.00	50-25	55-35	65-30
2.36	——	——	50-20
1.18	——	——	40-15
0.60	30-8	35-10	30-10
0.30	——	——	15-5
0.15	8-0	8-0	8-0

1ـ4ـ6 حدوث فجوة فى التدرج (Gap-graded Aggregate):

شكل (1ـ10) يوضح مثال لمنحنى تدرج ركام شامل، ويتضح منه غياب الحبيبات من مقاس 10.00 مم إلى مقاس 2.36 مم. وهذا يمثل عيب جوهرى يجب التغلب عليه، كما سيأتى فى البنود اللاحقة بخلط نوعين أوأكثر من الركام.



شكل (1ـ10) مثال لركام ذو الفجوة فى التدرج

1ـ4ـ7 خلط ركام كبير وركام صغير:

جدول (1ـ9) يحتوى على نتائج التحليل المنخلى لرمل وزلط تم توريدهما لأحد المواقع والمطلوب حساب التدرج لخليط من الزلط والرمل مخلوطان بنسبة وزنية قدرها 2 : 1.

جدول (1-9) نتائج التحليل المنخلى (% للمار)

المنخل	3/2	3/4	3/8	3/16	7	14	25	52	100
زلط ($ص_2$)	100	70	30	2	—	—	—	—	—
رمل ($ص_1$)	100	100	100	98	85	55	40	20	5
الحل الحسابى	100	79.8	52.8	34	28.3	18.3	13.3	6.6	1.56
الحل البيانى	100	80	53	33	28	18	13	6	1.5

هناك طريقتين لحساب تدرج الركام الشامل:

- الطريقة الأولى وهى الطريقة الحسابية:

% للمار من المنخل للركام الشامل = % للمار من الزلط x $\frac{\text{وزن الزلط}}{\text{وزن الركام الشامل}}$

+ % للمار للرمل x $\frac{\text{وزن الرمل}}{\text{وزن الركام الشامل}}$

وكمثال؛ % للمار من منخل 3/8 = 30× 3/2 +100× 3/1 = 52.8 %

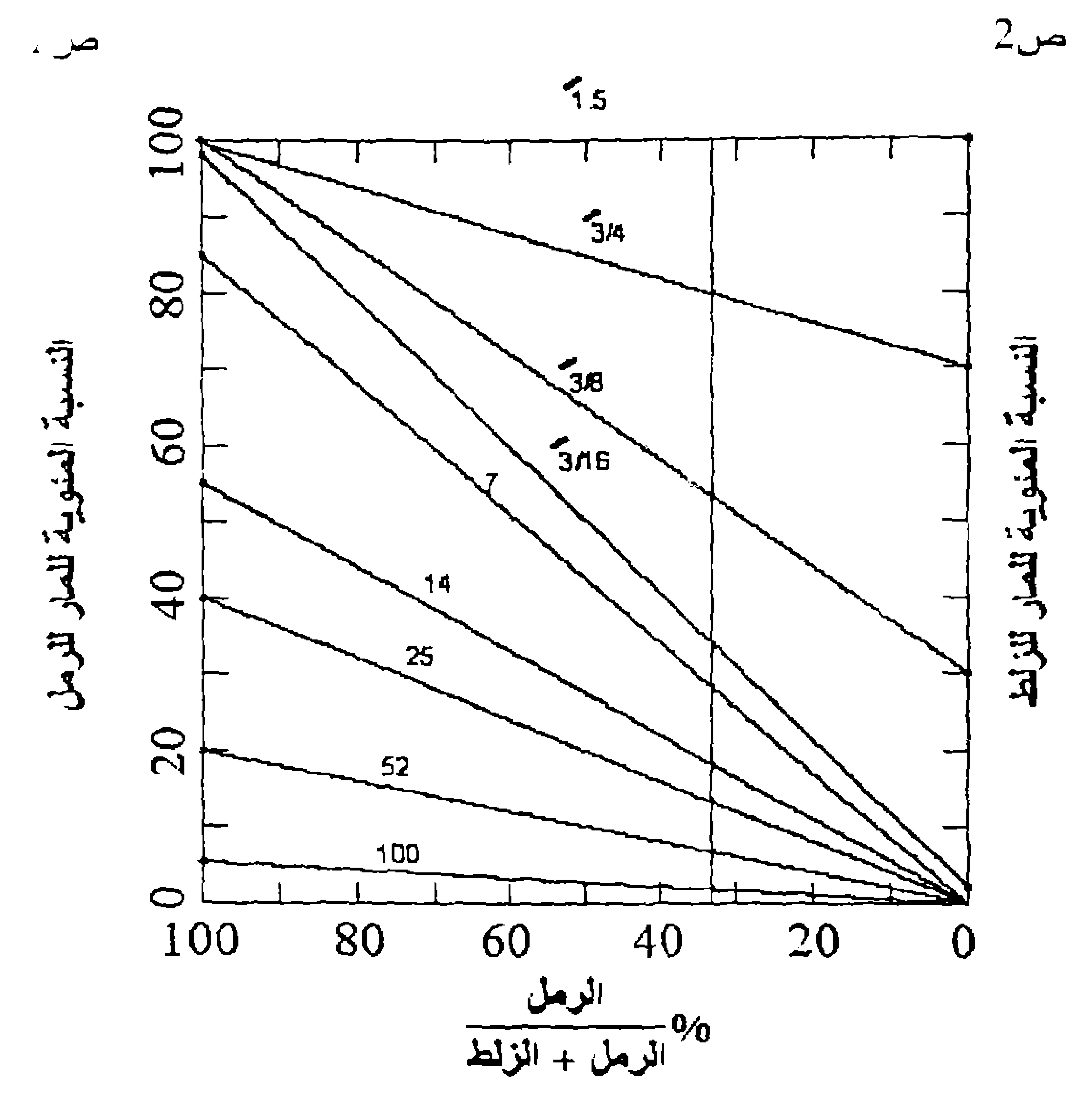
- الطريقة الثانية وهى الطريقة البيانية:

وهذه الطريقة سوف تساعد المهندس كثيراً فى ما بعد. وشكل (1ـ11) يوضح تلك الطريقة، والتى تـُجمل فى ما يلى:

- يتم رسم شبكة مربعات (10×10).

محور س يمثل % للرمل بالنسبة للركام الشامل =100× $\frac{\text{وزن الرمل}}{\text{وزن الرمل + وزن الركام الكبير}}$

- وتتراوح النسبة بين صفر و100%.
- على محور ص1 يتم توقيع % للمار من مناخل الرمل.
- على محور ص2 يتم توقيع % للمار من مناخل الزلط.
- يتم توصيل % للمار من منخل معين على ص1 بالنسبة للمار من نفس المنخل علـى محور ص2 هذا الخط المائل يمثل المحل الهندسى للنسبة المئوية للمار من هذا المنخل لأى خليط من الرمل والركام الكبير.
- وكمثال المحل الهندسى لمنحنى 3/8" هوخط يصل بـين 30% علـى محـور ص2 و100% عل محور ص1.
- يتم رسم خط رأسى على محور س عند نسبة الخلط المعطاه ($\frac{1}{2+1}$ ×100) = 33 %.
- يحسب قيم تقاطعات الخط الرأسى ص مع المناخل المختلفة لتمثل % للمار للخليط ، و تُوقع فى الجدول السابق.



شكل (1ـ11) الطريقة البيانية لحساب تدرج الركام الشامل

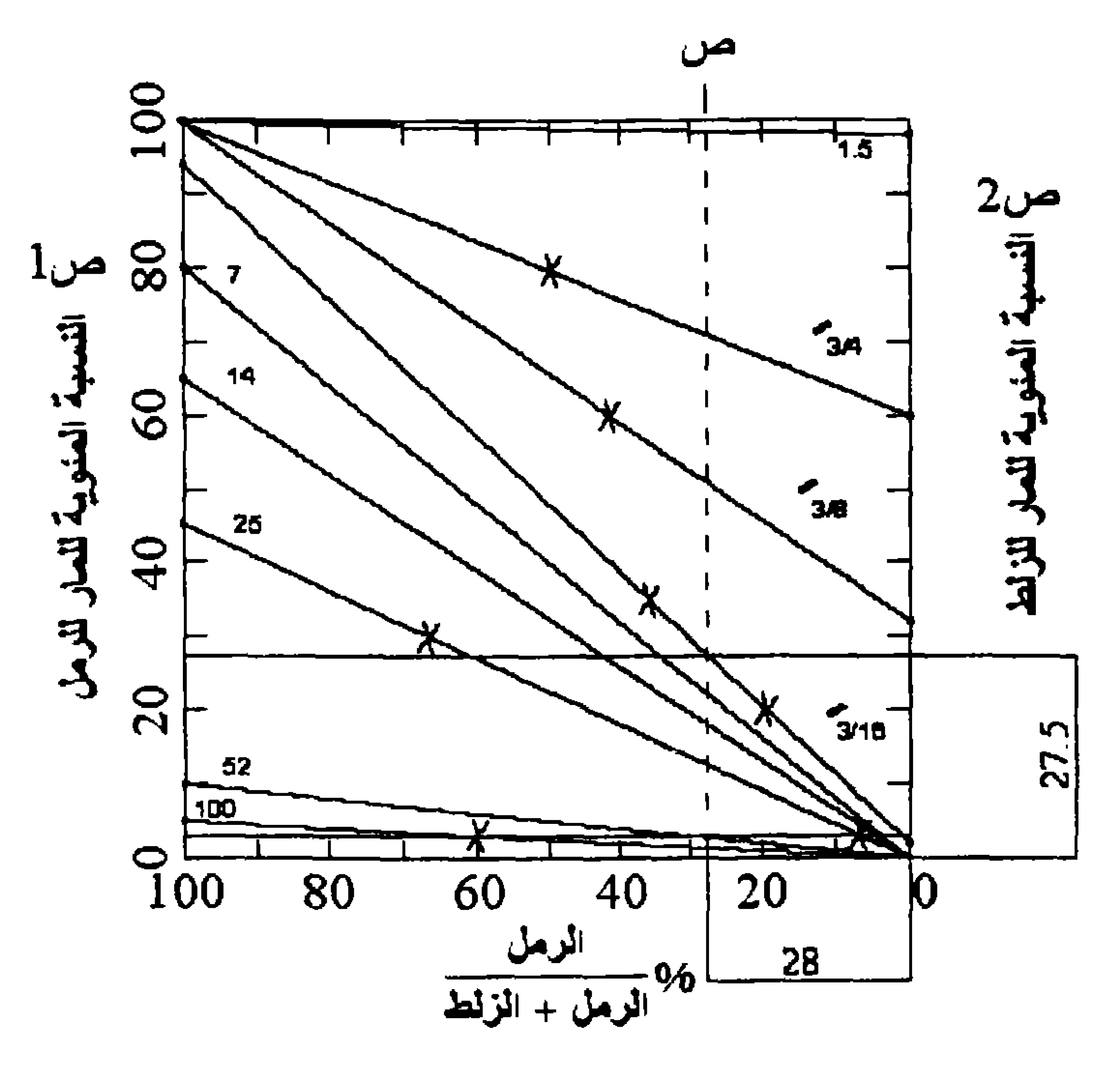
1ـ4ـ8 تحديد نسبة خلط الرمل والركام الكبير للحصول على تدرج ركام شامل معلوم حدود تدرجه:

تستخدم هذه الطريقة لتحديد نسبة خلط ركام صغير إلى ركام كبير للحصول على تـدرج يحقق حدود ركام شامل معلوم التدرج وهى نفس الطريقة التى يمكن بها تحديد نسبة خلط رمل ناعم مع رمل خشن للحصول على تدرج معلوم للرمل.

جدول (1-10) يمثل % للمار من رمل وزلط وركام شامل

المنخل	1.50	0.75	3/8	3/16	7	14	25	52	100
رمل ص1	100	100	100	94	80	65	45	10	5
زلط ص2	98	60	32	2					
الركام الشامل	100-95	80-40	60-30	35-20	–	–	30-3	–	3-0
خليط ص النهائى	98.5	69	50.7	27.5	22	18	12.5	3	1.5

- يتم رسم شبكة المربعات وتوقيع تدرج الرمل على محور ص1 وتوقيع تدرج الـزلط على محور ص2،انظر شكل(1ـ12).



شكل(1ــ12) خلط ركام كبير و ركام صغير للحصول على تدرج معين

ــ ارسم محال المناخل المختلفة بتوصيل % للمار للمنخل المعين من ص1 إلى ص2.

ــ يتم توقيع حدود الركام الشامل على هذه المحال.

ــ حيث أن المنخل $\backslash^{3}_{16}$ هوالمنخل الذى يفصل بين الرمل والزلط.

ــ فيتم رسم خط أفقى على بعد رأسى مقداره = القيمة المتوسطة للمار من منخل $\backslash^{3}_{16}$ = 27.5 %.

ــ يتقاطع الخط السابق مع المحل الهندسى لمنخل $\backslash^{3}_{16}$ فى نقطة، ويرسم من عندها خط رأسى ص يمثل الاختيار الأول للخليط.

ــ نفحص هل هذا الخط ص داخل مناطق حدود التدرج للركام الشامل أم لا، ويمكن تحريك هذا الخط إلى الجهة التى تقلل التكلفة، فإذا كان الزلط أغلى من الرمل فإن الخط ص يجب أن يكون أقرب ما يمكن لمحور $ص_1$.

ــ يتم حساب النسبة المئوية للمار للخليط ص عن طريق تقاطعه مع المحال الهندسية للمناخل المختلفة للركام كما بجدول (1ــ10).

ــ من الشكل يتضح أن:

- نسبة الرمل: الركام = 28%
- نسبة الرمل: الزلط = 1 : 2.75 .

1ـ4ـ9 خلط ركام كبير مقاسه كبير مع آخر مقاسه صغير للحصول على خليط زلـط معلوم التدرج:

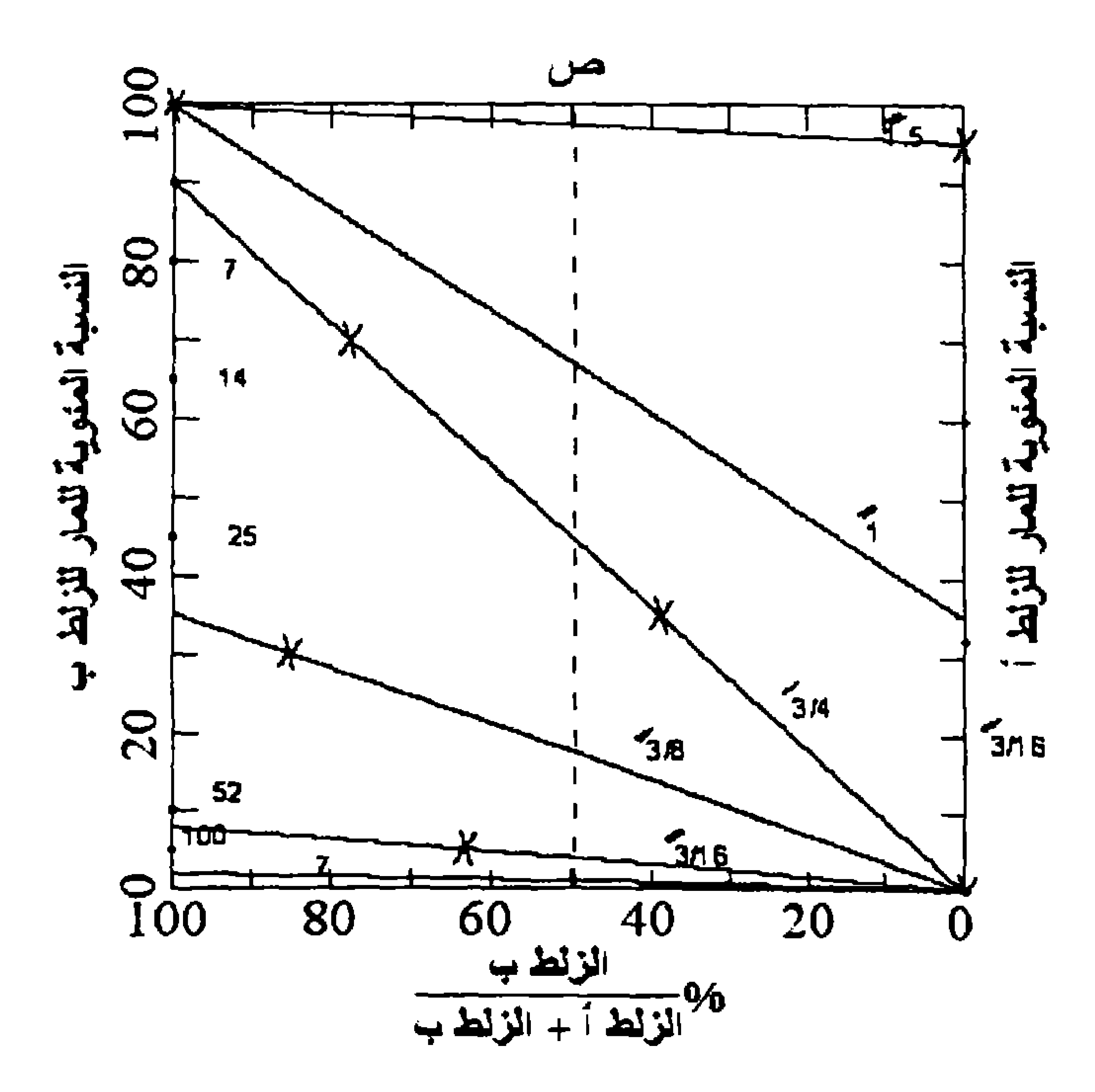
كثيراً ما يصعب الحصول على ركام كبير متدرج فى الطبيعة، وفى تلك الحالة يتم خلـط ركام مقاسه كبير (مثلاً 1") مع ركام مقاسه صغير (مثلاً 3\8") وذلك للحصول على تـدرج معلوم، والمثال التالى يوضح كيف يتم ذلك:

ركام كبير (أ) مقاسه 1.5" تدرجه معلوم يراد خلطه مع ركام (ب) مقاسه 1" للحصول علـى تدرج خليط معلوم معطى بجدول (1-11).

جدول (1-11) % للمار لنوعين زلط وحدود المواصفات لركام خليط مرغوب فيه

مقاس المنخل	1.50"	1"	0.75	3\8	3\16	7
زلط أ	95	35	2			
زلط ب	100	100	90	35	8	2
خليط معلوم	100-95		7-35	30-10	5-0	ــــ
الركام ص	97.5	67	45	17.5	4	1

ــ ترسم شبكة المربعات ويوقع الركام ب ، أ كما بشكل (1ـ13) وتوقع المحـال الهندسـية للمناخل وعليها نوقع حدود المواصفات للخليط.

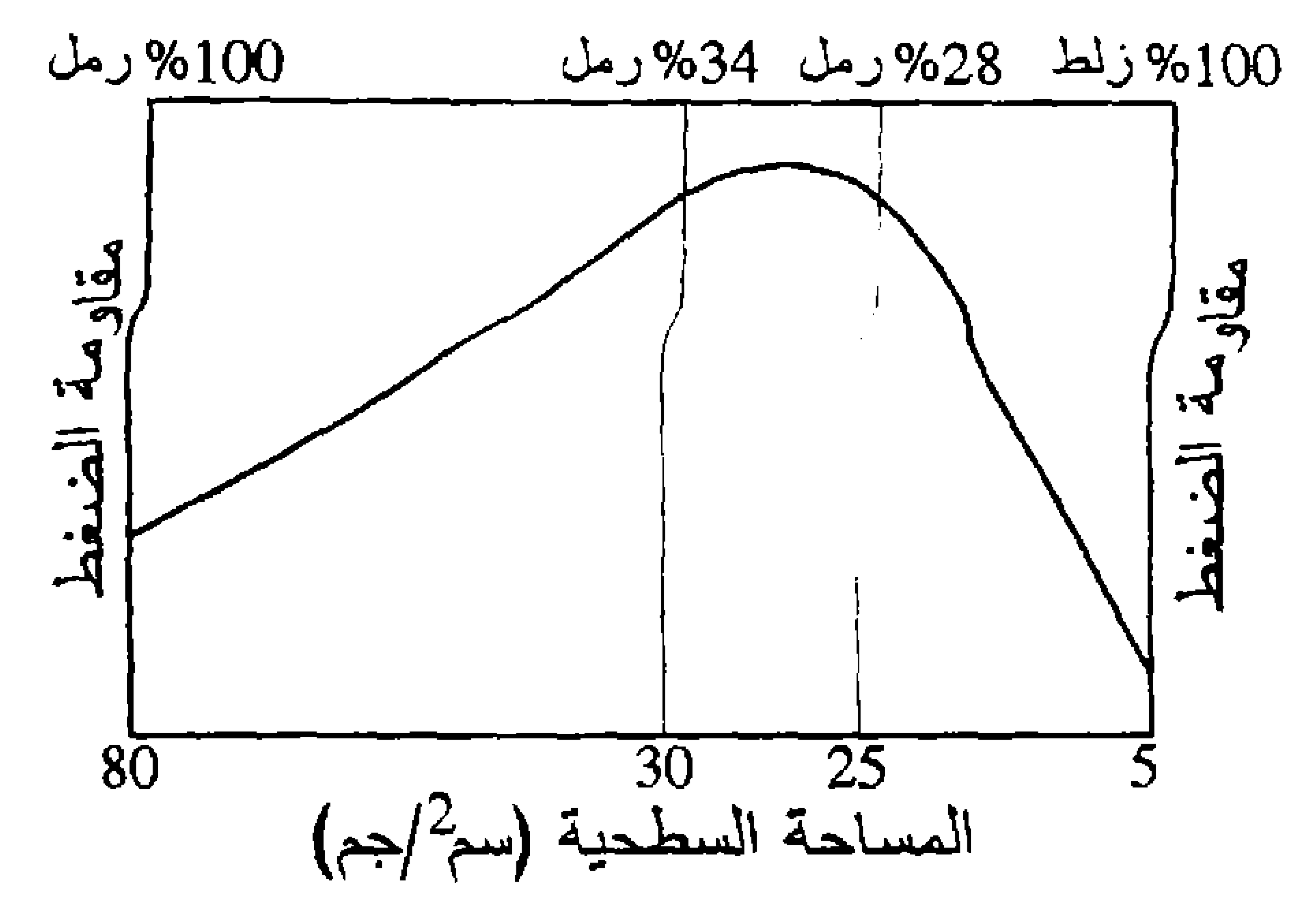


شكل (1ـ13) خلط ركام كبير أ مع ركام كبير ب

ـ يتم اختيار الخليط ص الذى يحقق المواصفات وذلك من الرسم ويمكن تحريكه ليوائم أقـل تكلفة مع محاولة عدم استخدام خط على الحدود نظراً لتغير خواص الركام فى الطبيعة.
تحدد النسبة من الشكل وهى % للزلط ب للزلط الكلى تقريباً = 50 % .
وبالمثل يمكن خلط رملين للحصول على رمل معين.

1ـ4ـ10 الركام الشامل وتأثير المـساحة الـسطحية (All-in Aggregate and Effect of Surface Area):

يلاحظ أن المساحة السطحية للركام الكبير صغير جداً (2- 5سم²/جم)، بينما تكون المساحة السطحية للرمل كبيرة (تتراوح بين 60- 100سم²/جم).
ولا يمكن استخدام الزلط والأسمنت والماء لإنتاج الخرسانة لأن المساحة السطحية للركـام ستكون صغيرة وكمية عجينة الأسمنت ستكون كبيرة جداً وسوف تتعرض للـشروخ نتيجـة الانكماش وستكون تركيز الإجهادات على العجينة الأسمنتية عالية، لذلك فإن مقاومة الـضغط لتلك الخرسانة تكون ضعيفة، وليس من المفضل كذلك استخدام خرسانة رمل فقط لأن المساحة السطحية تكون كبيرة وستزيد كمية المياه كثيراً وبالتالى ستكون المقاومة قليلة، ولذلك يستخدم العالم كله خليط من الركام الكبير والركام الصغير بنسبة تتراوح بين 1: 1 فى الخرسانة ذاتية الدمك وحتى نسبة تصل لـ 3 زلط : 1 رمل تقريباً فى الخرسانة التقليديه ، وشكل (1ـ14) عبارة عن علاقة تخطيطية توضح تأثير المساحة السطحية للركام على مقاومة الضغط.



شكل(1ـ14) رسم تخطيطى يوضح تأثير المساحة السطحية للركام على مقاومة الضغط

ويلاحظ أن أفضل مقاومة تكون مناظرة لمساحة سطحية متراوحة بين 25- 30 سم²/جـم للركام الشامل وذلك يناظر نسبة رمل للركام فى حدود 30%.

1ـ5 رطوبة الركام (Moisture of Aggregate):

لرطوبة الركام صور متعددة سواء فى الموقع حيث قد يتعرض الركـام لارتفـاع درجـة الحرارة فى الأجواء الحارة أوقد يتعرض للأمطار أوالرش بالماء لتخفيض درجة حرارته أوقد يجفف فى الفرن عند إجراء اختبارات عليه، وعموماً فإنه يمكن تفصيل حالات رطوبة الركام فى ما يلى:

(1) حالة الجفاف بالفرن (Oven Dry):

وهى تمثل حالة معملية حيث يوضع الركام فى فرن درجة حرارته قياسية (105°م) حتى يثبت وزنه ويستخدم فى حسابات % المئوية للامتصاص ووحدة الوزن والوزن النوعى.

(2) حالة الجفاف فى الهواء (Air Dry):

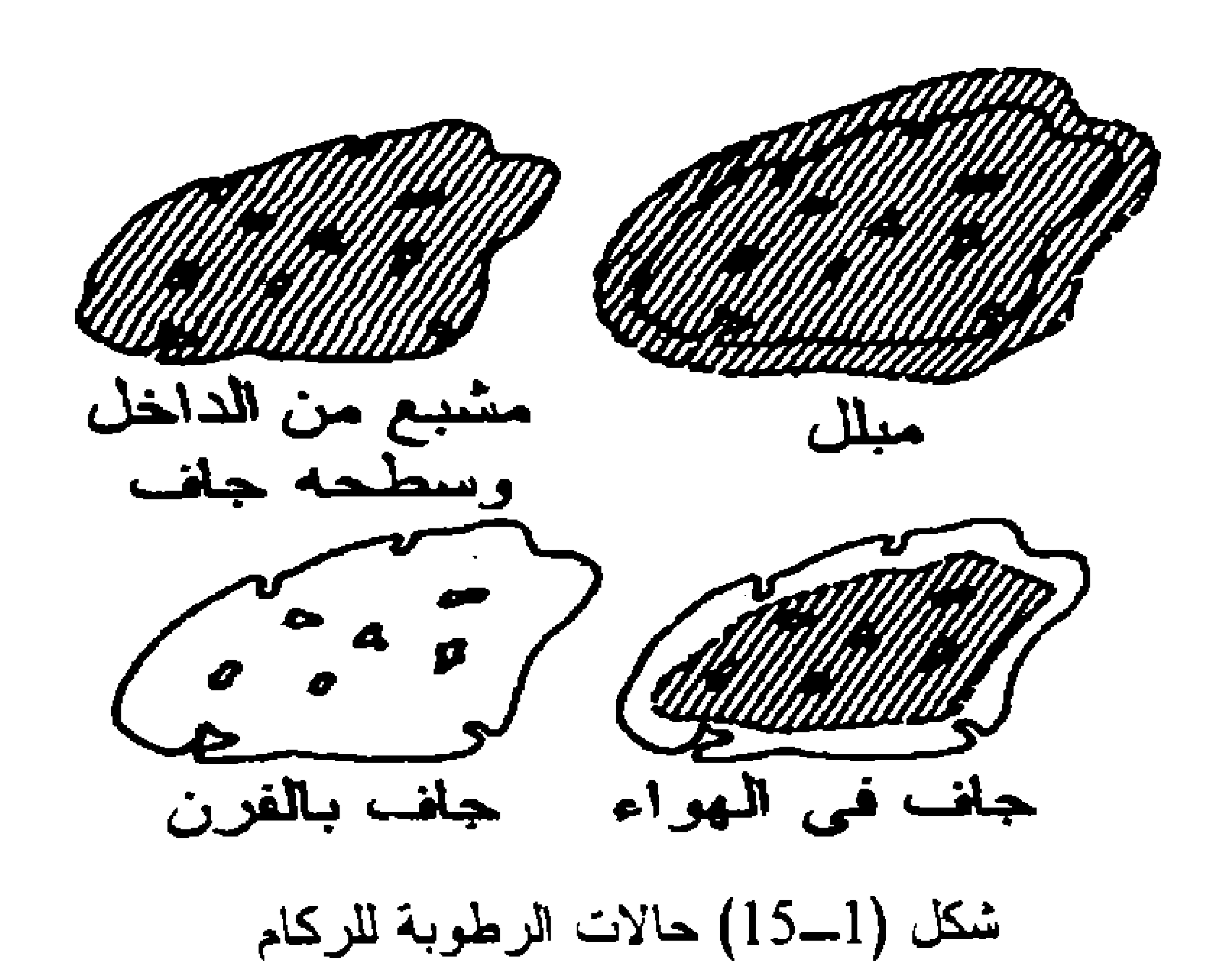
وهى حالة فى الموقع حيث يكون سطح الركام جاف ظاهرياً ولكن الحبيبات بها نسبة من الماء.

(3) مشبع من الداخل وسطحه جاف (Saturated Surface Dry):

وهى حالة معملية نصل إليها عن طريق وضع الركام فى ماء لمدة معينة (24 ساعه) ثم يرفع درجة حرارة الماء لتصل للغليان فى مدة معينة، ويترك الركام فى الماء المغلى لفترة قياسية (حوالى 5 ساعات)، ثم يترك ليبرد فى الماء، ويمسح سطحه الخارجى بمنديل من الورق لإزالة الماء السطحى، وبذلك تكون الحبيبة فراغاتها الداخلية مملوءة بالماء وسطحها جاف، ويستخدم فى تحديد الامتصاص الكامل والوزن النوعى.

(4) مبلل (Wet):

وفيه تكون الفراغات بها ماء والسطح عليه ماء، انظر شكل (1ـ15) الذى يوضح حالات الرطوبة للركام.



شكل (1ـ15) حالات الرطوبة للركام

1ـ6 الوزن الحجمى والنوعى للركام والنسبة المئوية للامتصاص:
(Unit Weight, Specific Gravity and Absorption):

يعرف الوزن الحجمى بأنه وزن حجم معين من الركام الجاف (بما فيه من الفراغات الداخلية فى الحبيبات) = $\frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}}$ ووحداته جم/سم³ أوطن/م³، ويستخدم فى تصميم الخلطةالخرسانية فى طريقة معهد الخرسانة الأمريكى.

ويعرف الوزن النوعى بأنه = $\frac{\text{كثافة المادة الصلبة للركام}}{\text{كثافة الماء فى نفس درجة الحرارة}}$

وكثافة المادة الصلبة للركام = $\frac{\text{وزن الركام جاف}}{\text{الحجم الصلب}} = \frac{\text{وزن الركام جاف}}{\text{حجم حبيبات الركام} - \text{حجم الفراغات الداخلية فى حبيبات الركام}}$

وامتصاص الركام له عدة صور ومنها:

- الامتصاص الطبيعي:

حيث توضع الحبيبات الجافة فى الماء لمدة 24 ساعة وتحسب النسبة المئوية للماء الممتص بالنسبة لوزن الركام خلال تلك الفترة.

- الامتصاص الكامل:

وهوالنسبة المئوية لامتصاص الركام بعد تركه لمدة 24 ساعة فى الماء ثم وضعه فى ماء يغلى لمدة 5 ساعات.

وكلما اقترب الامتصاص الطبيعي من الامتصاص الكامل يكون ذلك دليل على أن الركام فراغاته متصلة، ويعبر عن ذلك بمعامل التشبع (Saturation Coefficient).

- معامل التشبع = $\frac{\text{\% للامتصاص الطبيعى}}{\text{\% للامتصاص الكامل}}$ بحيث لا يزيد عن 1.0

وفى نهاية الباب سنذكر طرق تعيين الوزن الحجمى والنوعى والامتصاص للركام.

1ــ7 مقاومة الركام (Aggregate Strength):

من البديهى عامة أنه كلما استخدم المهندس ركام مقاومة حبيباته فى الضغط عالية فإنه سيحصل على مقاومة ضغط للخرسانة عالية، وحيث أنه من الصعب تحديد مقاومة حبيبة قطرها يتراوح من 16\3" إلى 1.5" فإنه ينصح باستخدام اختبار التهشيم للدلالة على مقاومة الركام الكبير (انظر ملحق الاختبارات فى نهاية الباب)، حيث يوضع الركام فى إناء ويعرض الركام لحمل ضغط 40 طن فتتكسر الحبيبات الضعيفة وتتفتت، ونحدد نسبة المواد المتفتتة فى الركام (المواد التى تمر على منخل 2.36مم) بالنسبة لوزن الركام وهذا ما يعرف بمعامل التهشيم (Crushing Value).

$$\text{معامل التهشيم} = \frac{\text{وزن الركام المار من منخل}2.36}{\text{وزن الركام الجاف}} \times 100$$

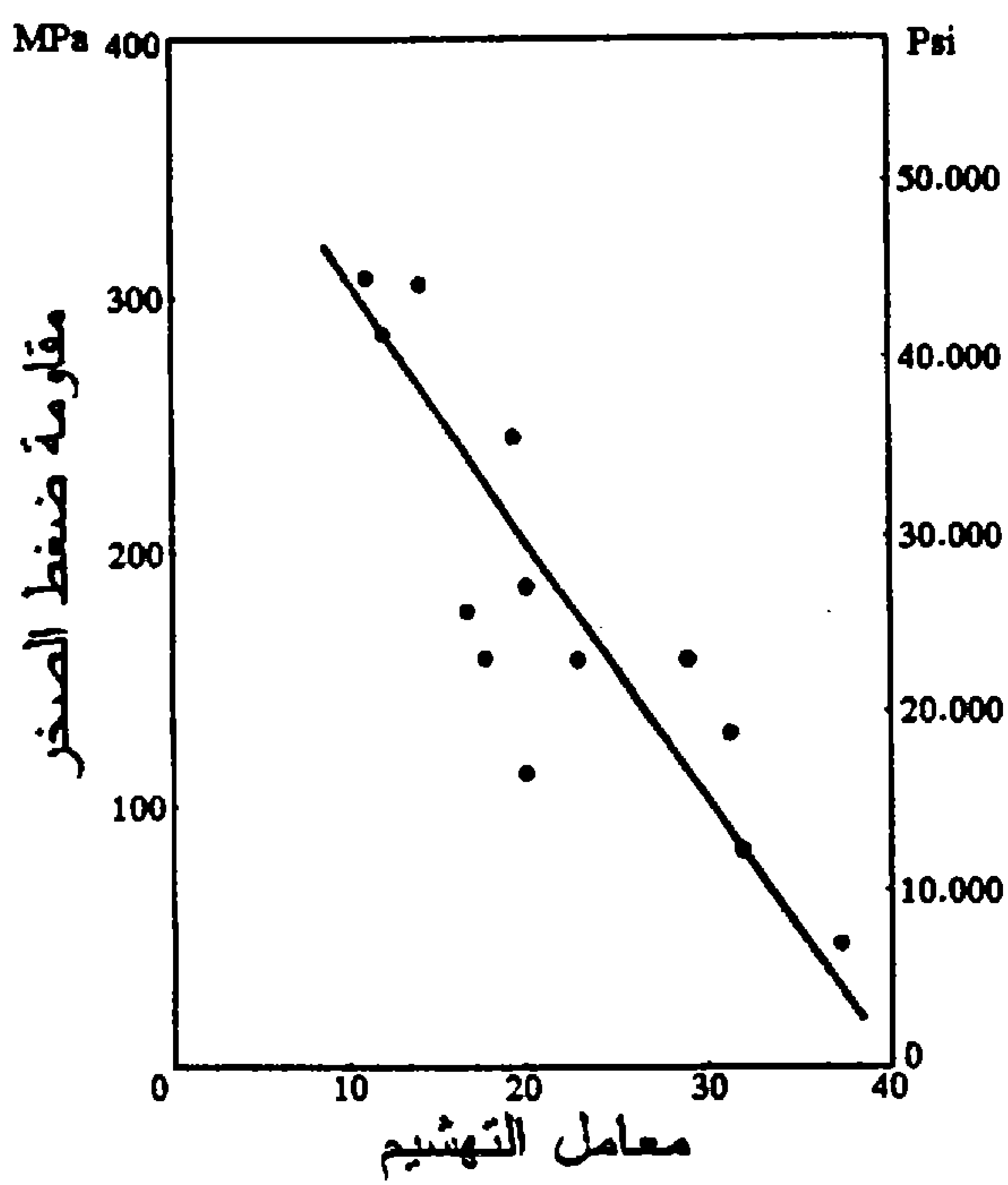
وكلما زاد معامل التهشيم دل ذلك على نقص مقاومة الركام للضغط، وينص الكود المصرى للخرسانة على أن لا يزيد معامل التهشيم عن 25% للخرسانه التى تتعرض أسطحها للتآكل و30 % للخرسانه التى لاتتعرض أسطحها للتآكل .

وشكل (1ــ16) يوضح العلاقة بين مقاومة ضغط اسطوانة مجهزة من الصخر الذى جهز منه الركام ومعامل التهشيم، والذى يوضح أنه كلما زاد معامل التهشيم فعامة تقل مقاومة الضغط. ولذلك لا يصلح استخدام الأحجار الجيرية الضعيفة (البيضاء) أوالأحجار الطباشيرية كركام للخرسانة، وجدول (1ــ12) يوضح مقاومة الضغط لبعض أنواع الصخور.

جدول (1ــ12) مقاومة الضغط لبعض أنواع الصخور

نوع الصخر	مقاومة الضغط ن\مم^2		
	المتوسطة	الدنيا	العظمى
جرانيت	181	114	257
حجر جيرى	159	93	241
حجر رملى	131	44	240
رخام	117	51	244

ومن الجدول السابق يتضح أنه يمكن استخدام كسر الجرانيت فى انتـاج خرسـانة عاليـة المقاومة. وأن الحجر الرملى والرخام أحياناً تكون مقاومتهما فى الضغط ضعيفة، ولـذلك لا ينصح المؤلف باستخدام كسرها فى الخرسانة إلا إذا أثبتت الاختبارات عكس ذلك، وفى بعض الدول العربية حيث تتواجد نوعيات ممتازة من الحجر الرملى ذات مقاومة عالية (حجر رملى جيرى)، فإنها تستخدمها كركام للخرسانة، والعبرة فى ذلك إجراء اختبار التهشيم أوالـصلادة الذى سيذكر لاحقاً.



شكل (1ـ16) العلاقة بين معامل التهشيم ومقاومة الصخر الأصلى للركام

1ـ8 صلادة الركام (Hardness of Aggregate):

تتعرض الخرسانة لعوامل الاحتكاك والبرى الناتجة عن الأحمال المتحركه فى حالة عـدم وجود تغطية للخرسانة، وقد تتآكل الخرسانة نتيجة النحر بالمياه المتحركة، ولذلك يجب التأكد من أن الركام ذوصلادة جيدة (أى يقاوم حدوث التآكل).

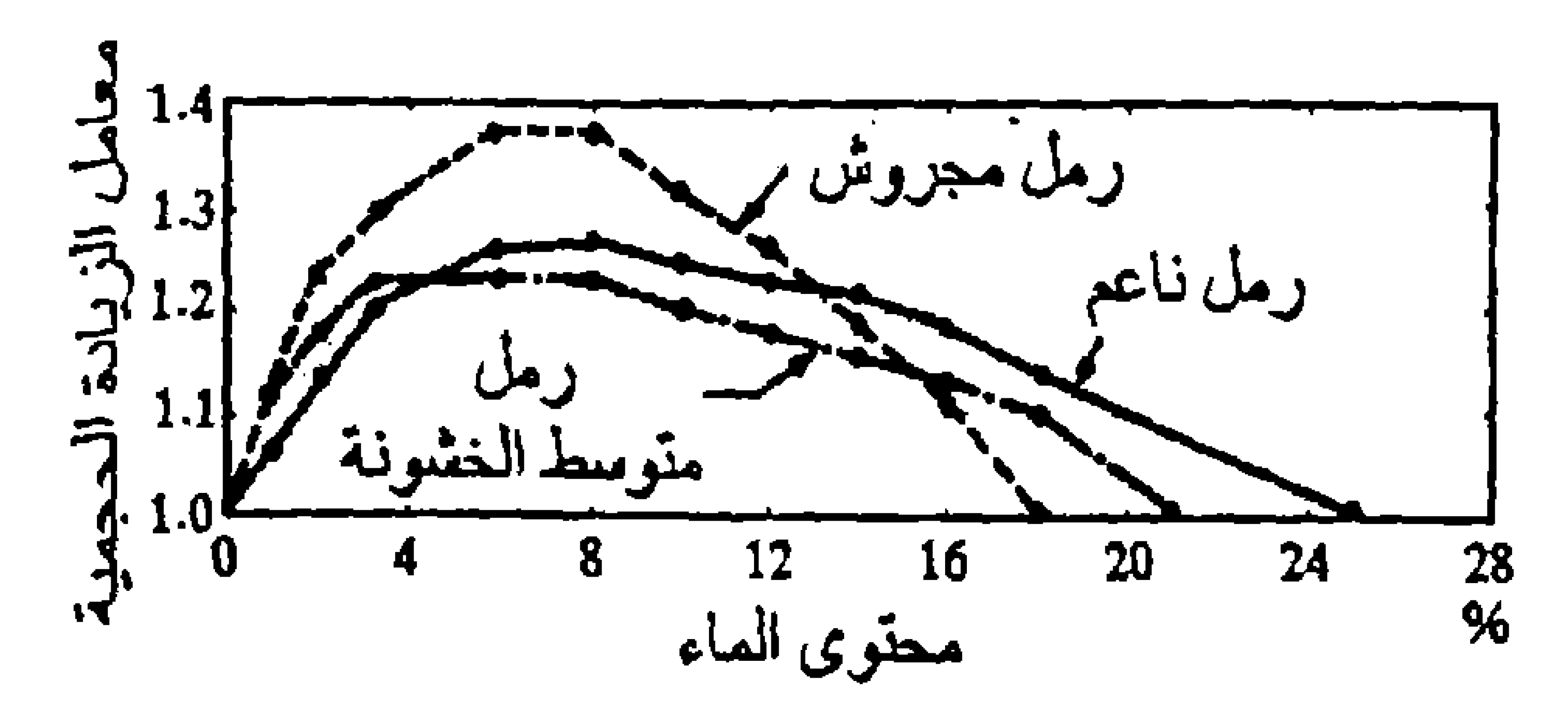
ويستخدم اختبار صلادة التآكل بالاحتكاك بطريقة لوس انجلس ؛ والتى تعتمد على وضـع ركام قياسى فى حلة مغلقة مزودة بكرات من الصلب قياسية (قطر 48 مم)، وبعـدد قياسـى يعتمد على تدرج الركام المختبر (6– 12 كرة)، ثم تعرض الحلة للدوران حتـى 500 دورة لركام الخرسانه(فى الاستخدامات الأخرى تصل إلى 1000 دورة)، ونتيجة الدوران يتـصادم الركام مع كرات الصلب ومع نفسه ويحدث تفتت به، وكلما زادت نسبة المواد المتفتتة (المارة من منخل 1.70 مم)، دل ذلك على نقص صلادة الركام، وعموماً نستطيع القول بأنـه غالبـاً كلما زادت صلادة الركام تتحسن مقاومة الضغط لحبيبات الركام (انظر ملحق الاختبـارات)، وينص الكود المصرى على استخدام ركام معامل صلادته أقل من أويـساوى 30 % لكـسر الأحجار و 20 % للزلط .

1ـ9 مقاومة الترابط للركام (Bond of Aggregate):

إن مقاومة الترابط بين الركام ومونة الأسمنت تؤثر على مقاومات الخرسانة المختلفة وخاصة مقاومة الانحناء (معاير الكسر)، وتعتمد المقاومة على نوع الركام وعلى خشونة السطح وعلى وجود مسام ووجود مواد طفلية أوطينية على سطح الركام، حيث كلما زادت الخشونة ووجود المسام ونقص الطفلة تتحسن مقاومة الترابط. والترابط أغلبه عبارة عن ترابط ميكانيكى ناتج من تلاحم الحبيبات بمونة الأسمنت ولكن تتحسن مقاومة الترابط بالنسبة لكسر الأحجار الجيرية وكسر الدولوميت نتيجة وجود ترابط كيميائى مع مونة الأسمنت. وكلما قلت مقاومة الترابط يحدث الكسر للخرسانة بظهور شروخ حول حبيبات الركام، أما فى حالة مقاومة الترابط العالية فإن الانهيار إما يحدث فى مونة الأسمنت فى الخرسانات ضعيفة و متوسطة المقاومة أو فى حبيبات الركام فى الخرسانة الخفيفة (خرسانة الليكا) وفى الخرسانة العالية المقاومة غالبا يحدث الشروخ نتيجة ضعف مقاومة الترابط اوفى الركام الكبير.

1ـ10 الزيادة الحجمية للرمل (Bulking of Sand):

لوحظ أن وجود رطوبة فى الرمل يؤثر على حجم الرمل ويتضح ذلك من شكل (1ـ17)، حيث أنه كلما زاد الماء الموجود فى الرمل يزيد الحجم حتى الوصول للمحتوى ماء يتراوح بين 6 و10%، والذى يحقق أكبر زيادة حجمية، وإذا زاد محتوى الماء عن ذلك يزيد وزن الماء ويتغلب على قوى الشد السطحى، فيبدأ الحجم فى النقصان، ويلاحظ أن الرمل الناعم عامة يحقق زيادة حجمية أكبر من الرمل الخشن، والرمل الناتج عن تكسير الأحجار يعطى زيادة حجمية أكبر من الرمل الطبيعى.



شكل (1ـ17) الزيادة الحجمية للرمل لنسب مختلفة من الرطوبة

ويجب أخذ تلك الظاهرة فى الاعتبار عند استلام شحنات الرمل، وكذلك عند خلط الخرسانة بالخلاطات الحجمية الذى يضاف فيها محتوى الرمل بالحجم. ويمكن تحديد تلك الزيادة عمليا فى المعمل بإضافة نسبة مختلفة لمحتوى الماء، وتقاس الزيادة الحجمية المناظرة.

1ـ11 الركام المفلطح (Flaky Aggregate):

يحتوى الركام خاصة الركام الناتج من التكسير على حبيبات مفلطحة (Flaky)، وتعرف الحبيبات المفلطحة بأنها الحبيبات التى تكون النسبة بين سمك الحبيبات المتوسطة ومقاس

الحبيبة المتوسط أقل من 0.60، ويحدد الركام المفلطح عن طريق فصل الركـــام باســـتخدام مناخل خاصة وإمرار الركام بين حوامل المسافة بينها أقل من 0.60 من مقاس الركام.
ويعبر عن كمية هذا النوع فى الركام بمعامل التفلطح (Flakiness Index).

$$\text{معامل التفلطح} = \frac{\text{وزن الركام المفلطح}}{\text{وزن الركام}} \times 100$$

وينص الكود المصرى للخرسانة على أن لا يزيد هـذا المعامـل عـن 25%، وتـسمح المواصفات البريطانية بنسب أعلى.
وهذا الركام يؤثر على مقاومة الخرسانة لأنه يزيد من تركيز إجهادات الضغط عند التحميل ويقلل من النسبة المئوية للفراغات ويقلل التشغيلية للخرسانة.

1ـ12 الركام المستطيل (Elongated Aggregate):

وهوالركام الذى تزيد النسبة بين طول الحبيبة ومقاس الحبيبة المتوسط عن 1.80، ويحـدد بواسطة استخدام مجموعة مناخل قياسية فتحاتها النسبة بين طولها وعرضها أكبر من 1.80، ويعبر عن نسبة هذا الركام المستطيل بمعامل الاستطالة (العصوية) (Elongated Index).

$$\text{معامل الاستطالة} = \frac{\text{وزن الركام المستطيل}}{\text{وزن الركام}} \times 100$$

وكلما زاد معامل الاستطالة تقل مقاومة الضغط للخرسانة وتقل التشغيلية.
وينص الكود المصرى للخرسانة على أن لا يزيد هـذا المعامـل عـن 25%، وتـسمح المواصفات البريطانية بنسب أعلى.

1ـ13 المسامية (Porosity):

تعبر المسامية عن الفراغات الموجودة بالركام، وإذا تواجدت بعض المسام علـى سـطح حبيبات الركام فيكون لها تأثير مباشر على تحسين مقاومة الترابط، وداخلياً تنقسم المسام إلى فراغات شعرية غير منفذة؛ نظراً لدقتها وعدم اتصالها، وإلى فراغات متصلة وكلمـا كانـت نسبة الفراغات المتصلة كبيرة يقل تحمل الركام وتزيد قابليته لامتـصاص المـاء، والنـسبة المئوية للمسام فى الجرانيت تتراوح بين صفر و3.8%، بينما تتراوح بين صـفر و37.6% الحجر الجيرى، ونلاحظ أن الحجر الجيرى منه أنواع صلبة جداً وأنواع صـلادتها ضـعيفة مليئة بالمسام مثل الحجر الجيرى الطباشيرى.

1ـ14 المواد الضارة (Deleterious Materials):

يحتوى الركام على أنواع مختلفة من المواد الضارة سنذكر فكرة عنها فيما يلى:

1ـ14ـ1 الطين والمواد الناعمة (Clay and Fine Materials):

نظراً لأن الركام من الأحجار الرسوبية فإنه عند ترسيبه يختلط بالمواد الناعمة من طـين وطمى ومواد أخرى، وهذه المواد تتميز بمساحة سطحية عالية جداً لأن قطر حبيباتها أقل من 750 ميكرومتر (تمر من منخل 200)، ولذلك فإن هذه المواد إذا زادت عن حد معين يزيـد

محتوى الماء وتقل مقاومة الضغط ومقاومة الترابط بين حبيبات الركام والمونــة الأسـمنتية، وتلك المواد يجب ألا تزيد نسبتها للركام الكبير عن 1% وللرمل عن 3%، وتزيد هذه النسبة قليلاً إذا كان أساسها من كربونات الكالسيوم فهى فى تلك الحالة تأثيرها السلبى يكون قليل وقد يحسن من بعض خواص الخرسانة، ولكن يجب التأكد بالتحليل الكيميائى لهـذه المـواد مـن تكوينها، وتحدد تلك المواد بالنخل على منخل 200 بالغسيل، و تحسب نسبة المواد المارة من منخل 200 بالنسبة لوزن العينة الاصلية كما سيذكر لاحقاً.

1ــ14ــ2 الشوائب العضوية (Organic Impurities):

يحتوى الركام على شوائب عضوية تنتج عن تحلل النباتات الموجودة فى الركام حيث ينتج عن هذا التحلل حمض التانيك ومشتقاته، وهذه المواد تظهر بصورة أوضح فى الرمل، وهـذه المواد تؤثر على شك الأسمنت حيث أنه ينتج عنها مواد تؤجل شك الأسمنت، وبالتـالى تقـل المقاومة المبكرة للخرسانة، وللكشف عن هذه الظاهرة يجب عمـل اختبـار Colorimetric الموجود فى ASTM C- 40-69 ، وفى حالة إثبات هذا الاختبار لوجود تلك المواد فيجب صب مكعبات خرسانة بهذا الرمل وصب مكعبات برمل قياسى خالى من وجود تلك المـواد وتحدد مقاومة الضغط للاثنين، ويجب ألا تقل النسبة بين مقاومة ضغط الخرسانة المحتـوى رملها على مواد عضوية ومقاومة الخرسانة ذات الرمل القياسى عن 1.00.

1ــ14ــ3 الأملاح المحتواه فى الرمل (Salt Contamination):

يحتوى الركام على أملاح الكلوريدات والكبريتات والتى يجب تحديـدها بعمـل اختبـار كيميائى لتحديد محتوى الكلوريدات والكبريتات كنسبة من وزن الركـام، وزيـادة محتـوى الكلوريدات يؤدى إلى تعجيل صدأ صلب التسليح، أما زيادة محتوى الكبريتات فيـؤدى إلـى حدوث تمددات بالخرسانة وخاصة فى حالة توفر الرطوبة فى الخرسانة، والكـود المـصرى للخرسانة (كود 203-2007) يسمح بالنسب الواردة فى جدول (1ــ13)

جدول (1-13) الحدود المسموح بها للكلوريدات والكبريتات بالركام وثبات الحجم للركام

الخاصية *	الحد الأقصى كنسبه مئوية من وزن الركام	
	الركام الكبير	الركام الصغير
1 ــ محتوى الكلوريدات القابله للذوبان فى الماء (Cl^-) **	%0.04	%0.06
2 ــ محتوى الكبريتات الكليه على هيئة (SO3) ***	%0.4	%0.4
3ــ ثبات الحجم الكيميائى(معبراً عنه بالنسبة المئويـة للفاقـد فـى الوزن)		
3ــ أــ التعرض لــ 5 دورات فى محلول كبريتات الصوديوم .	12	10
3 ــ ب ــ التعرض لــ 5 دورات في محلول كبريتات المغنسيوم .	18	15

* تحدد هذه الخواص بالإختبارات الوارده بالمواصفات القياسيه .

** لاتزيد النسبه المئوية لمحتوى الكلوريدات القابله للذوبان فى الماء علــى 0.010% مــن الركام الشامل فى حالة الخرسانة سابقة الإجهاد .

*** بشرط خلو الركام من الجبس .

1–14–4 الحبيبات الغير ثابتة (Unsound Particles):

يحتوى الركام على حبيبات غريبة عن الركام من مواد أخرى، وهذه المواد تفقد تماسكها ومقاومتها عند التعرض للأحمال أوقد يحدث عنها تمدد كبير عند تعرضها للماء أوللتثلج، وتلك المواد تشمل ما يلى:

أ- المواد الخفيفة:

مثل الفحم والأحجار الرخوة (Shale) والتكتلات الطينية (Clay Lumps) وغيرها. زيادة هذه المواد يؤدى إلى نقص المقاومة، ووجود نسبة عالية من التكتلات الطينية قد يؤدى إلى خطورة على القطاع الخرسانى، والرمل المسرود (المنخول) يقل فيه جداً تلك التكتلات الطينية، ويجب تحديد محتوى تلك المواد فى الركام والتى يجب أن تكون مسموح بها.

ب- الميكا:

وهومعدن شفاف يزيد من متطلبات محتوى الماء، وقد تتفاعل بعض أنواع الميكا مع مركبات إماهة الأسمنت.

ج- الجبس والكبريتات الأخرى:

وهذه المواد فى حالة وجود رطوبة بالخرسانة قد تؤدى إلى حدوث تمدد بالخرسانة المتصلدة.

1–14–5 وجود مواد تؤدى إلى عدم ثبات الركام (Materials Yield Unsound Particles):

قد تحتوى حبيبات الركام على مواد ضعيفة مثل الطين والحجر الجيرى الطينى ؛ والذى يظهر عند إجراء اختبار التحليل بالأشعة السينية (X-Ray Analysis)، وقد تتواجد مواد أخرى، وعند تعرض الركام لدورات من التثلج وذوبانها أوعند التعرض لدورات من البلل والجفاف فقد يحدث تغير حجمى فى حبيبات الركام أوتفتت قد يؤدى إلى عدم الثبات الحجمى للخرسانة، وكلما كان الركام قابل لحدوث تغير حجمى به يقال عنه أنه غير ثابت (Unsound)، وللكشف عن وجود هذه الظاهرة يجب استخدام تجربة ASTM C88-76 لدراسة ظاهرة Soundness للركام؛ وفيها يتم تعريض الركام لـ5 دورات من الغمر فى محلول قياسى من كبريتات الماغنيسيوم أوالصوديوم ثم يتم التجفيف بعد كل دورة غمر، وبالتالى يحدث تفتت فى بعض الحبيبات، وهذا التفتت يزيد كلما زادت المواد الغير ثابتة، والنسبة المئوية المسموح بها للمواد المتفتتة من الركام الكبير فى هذه التجربة لا تزيد عن 18% و20% عند استخدام كبريتات الماغنيسيوم والصوديوم على الترتيب ، بينما لا تزيد عن 15% و10% للركام الصغير (أنظر جدول 1–13).

1ـ15 ملحق العملي:

1ـ15ـ1 طرق أخذ العينات (Aggregate Sampling):

- يهدف :

تهدف ذه الطرق لتحديد الوسائل القياسية لأخذ وتحضير عينات الإختبار للركام الكبيــر أو الصغير أو الخليط .

- العينات :

ـ أخذ وتحضير العينات .

يختص هذا الجزء بإعداد العينات الشاملة ، تجهز عينات الركام الصغير أو الكبير أو الخليط اللازمة لإجراء الإختبارات المبينة فيما بعد بأخذها من المحجر وعند التوريد ويكون ذلك من الركام المنقول بالعربات أو أية وسيلة أخرى أثناء تعبئته بالمحجر وأى مكان آخر ، وتؤخـذ عينة واحدة شاملة لكل 100 متر مكعب من الركام إلا فى الحالات التى يكون فيهــا الركـــام مأخوذاً من محاجر معروفة الخواص فيجوز الإكتفاء بعينة واحدة بــشرط ألا يكــون هنـــاك إختلاف واضح فى الركام المورد . ويذكر حجم كمية الركام الكلية المأخوذة منهــا العينـــة ، ويمكن تمثيل هذه الكمية بعينة واحدة إذا كان المطلوب معرفة خواص الركام ، أما إذا كــان المطلوب الحصول على معلومات خاصة تبين مدى إختلاف الركام فيتم تحضير بضعة عينات تمثل كل عينة منها الركام المأخوذ على فترات محددة من الكمية الكلية ووضع كل عينة فـــى عبوة مغلقة تفصلها عن العينات الأخرى .

ـ تؤخذ العينة الواحدة فى الموقع كما يلى :

تحضر العينة بأخذ كميات متساوية من الركام على وجه التقريب من مواضع مختلفة على أن يكون ذلك من نقاط متفرقة على جوانب المصدر من أعلاه ومنتصفه وأسفله ، ثم تخلط هــذه الكميات مع بعضها البعض خلطاً تاماً لتكون العينة الكلية الممثلة للركام ، ويراعى عند أخــذ كميات الركام المذكورة أن تكون ممثلة تماماً لغالبية الحبيبات ولا تؤخذ من نقط تتركز فيهــا الحبيبات الكبيرة كما يحدث عادة فى أسفل الأكوام . على ألا يقل عدد النقط التى تؤخذ منهــا كميات الركام عن عشر نقاط للعينة الواحدة . وفى حالة تحضير العينات تحت ظروف غير عادية يراعى أن تكون نقط أخذ كميات الركام من المصدر كثيرة بحيث تكون العينة الكليـــة أكبر لضمان تمثيلها للركام تمثيلاً صحيحاً ، ويفضل أن يكون عدد تلك الــنقط ووزن كميـــة الركام المأخوذة من كل نقطة ووزن العينة الكلية كما هو مبين بجدول (1ـ14) والذي يتراوح بين 200 كجم و 40 كجم وعن طريق التقسيم تستخرج منة عينة الإختبار التى ترسل للمعمل بوزنها أو مضاعفاتها (أى ترسل عينتين أو أكثر) .

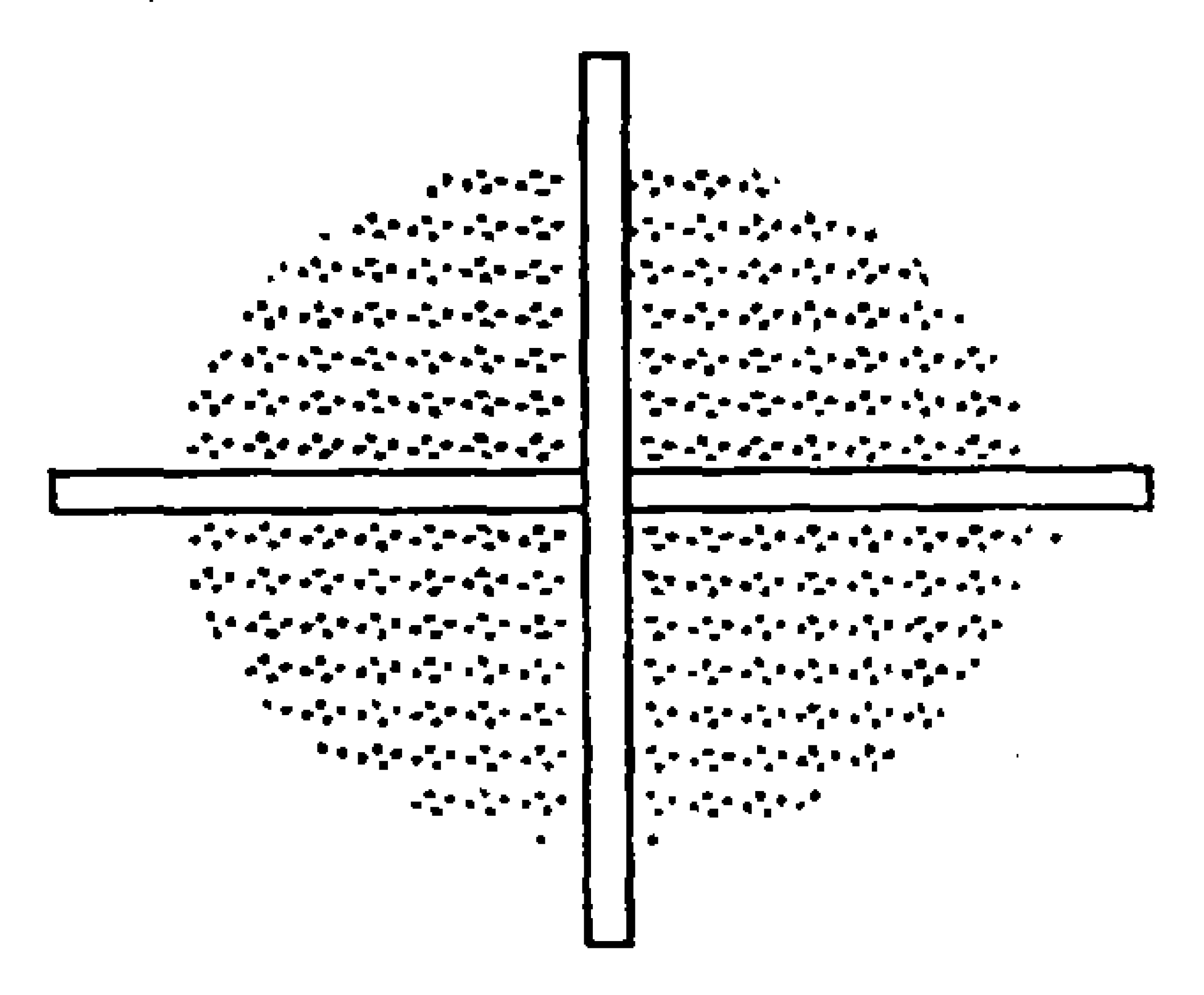
- خطوات الإختبار :

ـ تحضير العينة الإختبار .

تحضر العينة التى ترسل لمعمل الإختبار بتجزئة العينة الكلية فى الموقــع ، وتكــون هــذه التجزئة بالأوزان المبينة بجدول (1ـ14) بإستخدام طريقة التقسيم الربعى كما يلى :

ـ تعمل التجزئة بالخلط التام لكميات الركام المأخوذة من النقاط المختلفة والمكونــة للعينـــة الكلية وذلك بعمل كوم مخروطى منها ثم يقلب ، ويعاد عمل الكوم المخروطــى مــرة ثانيـــة وتجرى هذه العملية ثلاث مرات ، ويراعى عند عمل الكوم المخروطى أن يكون تكويم الركام بوضعه فى رأس المخروط وتركه ينساب إنسياباً منتظماً على جوانبه ، يراعى عدم زحزحة مركز قاعدة المخروط وإعادة قطع الركام الكبير التى تتبعثر حول القاعدة الى جوانب الكوم ،

ثم تسطح الكومة المخروطية الثالثة بحرف لوح من الخشب أو حرف جاروف بوضعه قطرياً فى مركز الكومة وتحريكه دائرياً مع رفعه بعد كل دورة وإعادة ذلك عدة مرات حتى يتسطح الكومة بهيئة دائرية بتخانة منتظمة على أن يكون مركزها هو نفس مركز الكوم المخروطى . ثم تقسم الكومة الدائرية المسطحة الى أربعة أقسام وذلك بوضع لوحين من الخشب أو المعدن على سطحها على شكل قطرين متعامدين ثم ضغطها كما هو مبين بالشكل رقم (1ــ18) ثــم يستبعد جزأن متعامدان قطرياً ويؤخذ الجزأن الآخران ويخلطان مع بعضهما خلطــاً تامــاً ، وتكرر عملية التقسيم الربعى على خليط هذين الجزأين مرة أو أكثر حتى يحصل على الكمية اللازمة لعملية الإختبار.



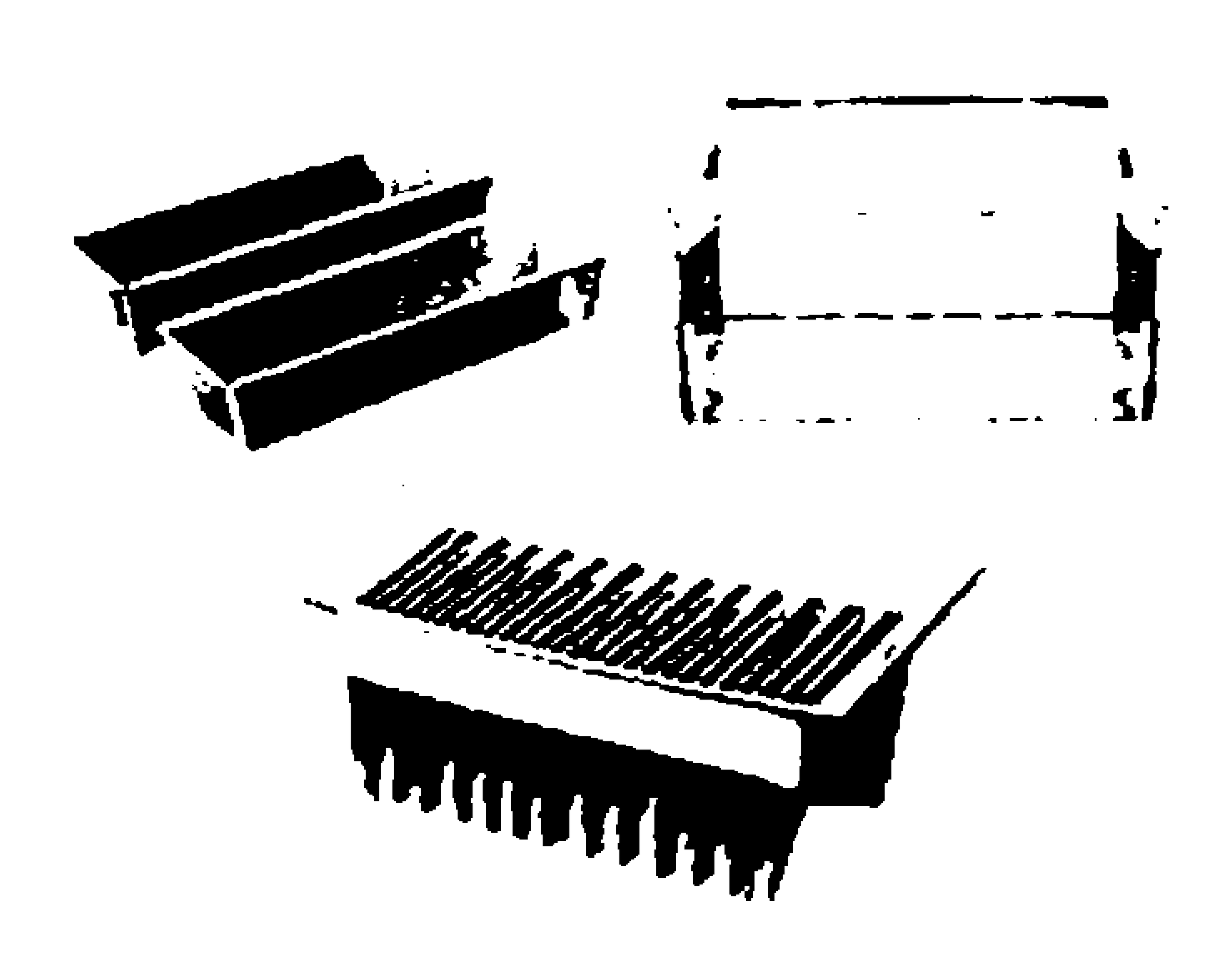
شكل (1ــ18) التقسيم الربعى للركام

ــ تعبئة عينات الإختبار :

تكون الأوعية التى ترسل فيها العينات لمعامل الإختبار متينة تتحمل أية ظروف سيئة أثنــاء الشحن على ألا يفقد أى جزء من الركام لا سيما المواد الناعمة ، ويتوقف نوع وعاء التعبئــة على طريقة شحن عينة الإختبار ، وتستعمل الأكيــاس ذات النــسيج القــوى المــضموم أو الصناديق الخشبية المحكمة أو الأسطوانات المعدنية .

ــ إختزال العينات للإختبار المعملى :

يتم إختزال العينات الواردة للمعمل للحصول على الكميات اللازمــة لإجــراء الإختبــارات المعملية بإستخدام صندوق التقسيم Riffler (شكل 1ــ19).



شكل (1ــ19) جهاز تقسيم الركام

ــ يرفق تقرير يختص بمعلومات الركام .

جدول (1-14) عدد النقط التى تؤخذ منها عينات الركام ووزن العينة

المقاس الإعتبارى للركام (مم)	المناخل القياسية		عدد نقط أخذ الركام	ووزن كمية الركام المأخوذة عند كل نقطة (كيلو جرام)	وزن العينة الكلية (كيلو جرام) فى الموقع	وزن عينة الإختبار (كيلو جرام) المرسلة للمعمل
	رقم المنخل	العرض الأسمى للفتحة (مم)				
40	7	37.5	20	10	200	50
32	8	28	20	10	200	50
25	10	20	20	10	200	50
20	11	20	20	5	100	25
16	12	14	20	5	100	25
10	15	10	20	4	80	20
5	19	5	10	4	40	10

1-15-2 اختبار التحليل بالمناخل للركام:
Test Method for The Determination of Sieve Analysis of Aggregates:

- يهدف هذا الاختبار الى تحديد:

ـ التدرج الحبيبى أى توزيع مقاسات حبيبات الركام فى كمية من الركام وذلك لإستخدامة فى الخلطات الخرسانية .
ـ معاير النعومة للركام .
ـ المقاس الإعتبارى الأكبر للركام .

- الأجهزة:

ـ يتم إستخدام مجموعة المناخل القياسية لكل من الركام الكبير والركام الصغير والركام الخليط كما هو بجدول (1-15) ومذكور أرقام وفتحات المناخل الذى يستخدم فى ركام الخرسانة المسلحه للمواصفات المصرية والبريطانية والأمريكية فى بند تدرج الركام (1-4) . والمناخل القياسية المذكورة هى المناخل ذات هيكل معدنى اسطوانى .
ـ هزاز مناخل ميكانيكى (إختيارى) .

- العينات :

ـ تحضر عينة الإختبار بتجزئة العينة الكلية كما هو مبين بإختبار طرق أخذ عينات الركام لكى تحقق الأوزان المنصوص عليها بجدول (1-16) لوزن عينة الإختبار.
ـ تجفف عينة الإختبار حتى يثبت وزنها لأقرب 0.1 % من وزن العينة فى فرن درجة حرارتة 105 ± 5 درجة مئوية لمدة 24 ± 4 ساعة .
ـ توزن عينة الركام الجافة بدقة لأقرب 0.1 % من وزن العينة وليكن وزنها (W) .
ـ ترتب المناخل طبقاً لمقاس فتحة المنخل ترتيبا تصاعدياً إبتداءً من الوعاء ثم تنخل العينة ويبدأ النخل بالمنخل الأكبر وينتهى بالمنخل الأصغر .
ـ تجرى عملية النخل بهز المناخل ميكانيكياً أو يدوياً مده كافية لاتقل عن 5 دقائق بحيث لايمر من أى منخل بعدها إلا 0.1 % من وزن العينة الكلى خلال دقيقة من النخل اليدوى. تكون عملية النخل بتحريك المنخل رأسياً وأفقياً وذلك بهزه أماماً وخلفاً يميناً وشمالاً ودائرياً

فى إتجاه عقرب الساعة وعكسه كما يحرك المنخل من وقت لآخر بحركة إلتفافيه حتى يتحرك الركام بإستمرار فوق وجه المنخل ليتيسر لحبيباتة فرصة المرور من فتحات المنخل .
ـ يراعى أثناء نخل الركام الكبير ألا تجبر حبيباتة على المرور من فتحات المنخل بالضغط عليها باليد وفى حالة المناخل التى مقاس فتحتها 20 مم وأكبر يسمح بمساعدة حبيبات الركام على المرور من فتحات هذه المناخل .
ـ يراعى أثناء نخل الركام الصغير إمكان فرك التكورات المتجمعة - إن وجدت - بضغطها على جدار المنخل وكذلك تستخدم فرشاه مناسبة لحك ظهر المناخل لإخلاء فتحاته من الركام الصغير كما يراعى استعمال فرشاة ناعمة فوق وجه المنخل مقاس 0.15 مم لمنع حدوث تجمع الركام الناعم مع عدم إحداث أى ضغط على سطح هذا المنخل .
ـ توزن مقادير الركام المحجوزه على كل منخل على حده بالميزان الحساس ولتكن أوزانه W_1 و W_2 و W_3 .... الخ .
ـ تحسب النسبة المئوية للركام المحجوز على كل منخل والنسبة المئوية للركام المار منه من واقع الأوزان المحجوزه على كل منخل كما بجدول (1-17) .
ـ فى حالة إجراء إختبار التدرج على عينة الركام بعد غسلها وتجفيفها يضاف وزن المواد الماره من منخل الإختبار 0.075 (منخل 200) الى وزن المواد المارة من أصغر فتحة منخل (منخل 100) .
ـ يعين من النسبة المئوية للمار المقاس الإعتبارى الأكبر للركام .
ـ يحسب معاير النعومة للركام الصغير .

جدول (1-15) المناخل القياسية لإختبار التدرج الحبيبى

فتحة المنخل (مم)	
لوح من الصلب الطرى مثقب بفتحات مربعة قطر المنخل 450مم أو 300مم (ركام كبير)	نسيج شبكى (أسلاك مضفرة) بفتحات مربعة قطر المنخل 300مم أو 200مم (ركام صغير)
75	3.350
63	2.360
50	1.700
37.5	1.180
26.5	0.850
19	0.600
13.2	0.425
9.5	0.300
6.7	0.212
4.75	0.150
	*0.075

* يمكن فى بعض التطبيقات استخدام المنخل 0.063 مم

جدول (1-16) أقل وزن لعينة إختبار التحليل بالمناخل

المقاس الإعتبارى (مم)	أقل وزن لعينة الإختبار (كجم)
63	50
50	35
37.5	15
28	5
20	2
14	1
10	0.5
5	0.2
2.36	0.2
2.36 >	0.1

جدول (1-17) طريقة حساب النسبة المئوية المحجوزه والنسبة المئوية الماره فى إختبار التحليل بالمناخل .

مقاس فتحة المنخل (مم)	الوزن المحجوز على كل منخل	الوزن الكلى المحجوز على كل منخل	النسبة المئوية المحجوزه من الركام	النسبة المئوية الماره من الركام
37.5	W_1	W_1	$\frac{W_1}{W}\times 100$	$100-(\frac{W_1}{W}\times 100)$
20.0	W_2	W_1+W_2	$\frac{W_1+W_2}{W}\times 100$	$100-(\frac{W_1+W_2}{W}\times 100)$
10.0	W_3	$W_1+W_2+W_3$	$\frac{W_1+W_2+W_3}{W}\times 100$	$100-(\frac{W_1+W_2+W_3}{W}\times 100)$
5.0	W_4	$W_1+W_2+W_3+W_4$	$\frac{W_1+W_2+W_3+W_4}{W}\times 100$	$100-(\frac{W_1+W_2+W_3+W_4}{W}\times 100)$

$$W= W1+W2+W3+W4$$

ـ احكم على تدرج الركام بمقارنتها بحدود المواصفات ببند (1-4-5) .

1ـ15ـ3 اختبار تعيين النسبة المئوية للإمتصاص للركام:

Test Method to Determine The Percentage of Absorption for Aggregate:

1ـ الركام الكبير:

ـ يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير للماء بالوزن.

ـ يتم غسل العينة قبل الاختبار على منخل 5مم لإزالة كل المواد الناعمة والطمــى والطــين والتى ستفقد أثناء الاختبار وبالتالى تؤثر على نتائجه، وبالنسبة للركام المعتاد (عدا الخفيف أو الثقيل) يجب ألا يقل وزن عينة الاختبار بالجرام عن 100 مرة المقاس الاعتبــارى الأكبــر للركام بالمليمتر.

ـ يتم وضع عينة الإختبار فى السله السلك (ذات فتحة من 1الى 3 مم) ثم تغمر فى وعاء به كمية مناسبة من الماء عند درجة حرارة ثابتة (15-25درجة مئوية) مع التأكد من الغمر التام لعينة الإختبار فى الماء بحيث لا تقل المسافة بين أعلى نقطة فى السلة السلك وسطح الماء عن 50مم.

ـ بعد الغمر يزال الهواء المحبوس بالعينة وذلك برفع السلة والعينة 25مم مع التأكد من أن السلة و العينة مغمورتان غمراً تاماً فى الماء، ثم يسمح لهما بالهبوط 25 مرة بمعدل مرة كل ثانية.

ـ تترك السلة وعينة الركام مغمورتين غمراً تاماً بالماء لمدة 24 ساعة.

ـ ترج السلة والعينة ثم تخرجان من الماء ويسمح بصرف الماء العالق عليهما، ثم يتم بعد ذلك تفريغ الركام من السلة ويوضع على قطعة قماش جامة ويجفف سطح العينة برفق ويستعان بقطعة قماش جافة أخرى إذا تطلب الأمر ذلك، ثم يتم وزن العينة وليكن وزنها (W1).

ـ توضع العينة فى وعاء مسطح ثم توضع بفرن تجفيف درجة حرارته 105 ± 5 ْم وذلك لمدة 24 ساعة ، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن وليكن وزنها (W2).

ـ يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير للماء = $\frac{W1-W2}{W1} X100$

2ـ الركام الصغير:

ـ يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير للماء بالوزن.

ـ يؤخذ حوالى 1 كجم من عينة الركام الصغير باستخدام الخطوات و الإجراءات الموضحة فى الاختبار السابق.

ـ تؤخذ عينة من الركام الصغير وتغمر بالماء لمدة 24 ساعة ± 4 ساعات ثم تجفف من الماء السطحى بطريقة قياسية ASTM C70 ويوزن الركام وليكن وزنه (W1).

ـ توضع العينة فى وعاء مسطح ثم توضع بفرن تجفيف درجة حرارتة 105±5 درجة مئوية وذلك لمدة 24 ساعة ، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن وليكن وزنها (W2) .

ـ يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير من المعادلة التالية :

$$\frac{W1-W2}{W1} X100$$

1ـ15ـ4 اختبار تعيين الوزن النوعى الظاهرى للركام :

Apparent Specific Gravity of Aggregate:

* طريقة المواصفه المصرية القياسية :

ـ الهدف هو تحديد الوزن النوعى الظاهرى للركام الصغير أو الكبير وهو ناتج قسمة وزن الركام الجاف على وزن الماء المساوى له فى الحجم (وزن الماء المزاح) .

1ـ إجراء الاختبار للركام الصغير:

ـ تجفف العينة (لاتتعدى 100 جرام) فى فرن مهوى درجة حرارته تتراوح بين 100-110 درجة مئوية ثم تبرد العينة فى مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات الى أن يثبت الوزن وليكن (W) .

ـ يسكب ماء درجة حرارتة بين 15-25 مئوية فى قنينه ذات رقبه مدرجة تدريجاً قياسياً ، مثل زجاجة (لوشاتلييه) بحيث يصل الى صفر التدريج أو يعلو الى أى علامة مناسبة على الجزء المدرج من القنينه ، وتسجل قراءة التدريج وليكن V1 ثم يضاف الركام الصغير بوزن (W) الى داخل القنينه ، ويترك مغموراً لمدة ساعة مع إزالة فقاقيع الهواء الموجودة وذلك بطرق القنينه طرقاً خفيفاً فوق قطعة من اللباد أو بأى طريقة أخرى كما يجب اتخاذ الحيطة لضمان بقاء جدار الجزء المدرج من القنينه جافاً وبعد ساعة من إضافة الركام الصغير تسجل القراءة الثانية وليكن (V2) .

ـ الوزن النوعى للركام الصغير = $\frac{W}{V_2 - V_1}$.

2ـ تحديد الوزن النوعى للركام الكبير:

تغمر العينة (2 كيلو جرام تقريبا) فى ماء درجة حرارتة (15-25) مئوية لمدة 24 ساعة ثم تؤخذ الحبيبات من الماء ويجفف سطحها بقطعة قماش مبلله بالماء .

ـ يستخدم إناء حجمة معلوم V1 .

ـ تصب كمية معلومة الحجم من الماء فى والوعاء وليكن (V2) الى مايقرب من منتصفه ثم تضاف حبيبات الركام الى الوعاء ثم تضاف كمية أخرى من الماء حجمها (V3) الى أن يمتلئ الوعاء تماماً .

ـ ترفع العينة من الماء وتجفف فى فرن مهوى درجة حرارتة تتراوح بين 100-110 درجة مئوية ثم تبرد فى مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات الى أن يثبت الوزن وليكن (W1) .

ـ الوزن للنوعى الظاهرى = $\frac{W_1}{V_1 - (V_2 + V_3)}$

* طريقة ASTM : يتم استخدام الطريقة المذكوره فى البند 6-2-3 وفترة الغمر تكون 24 ساعه بدلاً من 48 ساعه .

1ـ15ـ5 اختبار تعيين الوزن الحجمى والنسبة المئوية للفراغات للركام:

Test Method for Determination of Bulk Density (Volumetric Weight) and Percentage of Voids for Aggregate:

- يهدف هذا الاختبار لتحديد الوزن الحجمى (وحدة الوزن) وهو ناتج قسمة وزن الركام على الحجم الذى يشغله .
- النسبة المئوية للفراغات هى النسبة بين حجم الفراغات الموجودة بين حبيبات الركام وبين الحجم الكلى الذى يشغله الركام .

- خطوات الإختبار:

ـ يتم إختيار الوعاء المناسب من جدول (1-18) حسب المقاس الاعتبارى الأكبر للركام وليكن حجم الإناء V1 .

ـ يوزن الوعاء فارغاً وجافاً ونظيفاً وليكن وزنه W1 .

ـ يملأ الوعاء بالركام المدموك أو غير المدموك كما يلى :

أ ــ الركام المدموك: يملأ الوعاء لثلثه بالركام المخلوط خلطاً جيداً ويدمك بقضيب الدمك 25 مرة ثم يضاف مقدار آخر مساو له فى الكميه ويدمك 25 مره أخرى وبعد ذلك يملأ الوعاء لأكثر من سعته ويدمك 25 مرة .

ب ــ الركام غير المدموك: يملأ الوعاء لأكثر من سعته بواسطة جاروف من إرتفاع لا يزيد على 5 سنتيمترات أعلى الوعاء ويجب إتخاذ العناية الكافية لمنع إنفصال الحبيبات ذات المقاسات المختلفه المكونة لعينة الاختبار .

ــ يزال الركام الزائد عن سعة الوعاء بإستعمال قضيب الدمك كمسطرة تسوية .

ــ يعين وزن الوعاء بما فيه من ركام وليكن وزنه W2 .

ــ يكرر الاختبار ثلاث مرات على الأقل ثم يؤخذ متوسط النتائج .

جدول (1-18) مقاسات أوعية تعيين الوزن الحجمى للركام

المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)	سعة الوعاء (لتر)	مقاسات الوعاء (مم)		
		القطر الداخلى	الارتفاع الداخلى	تخانة الجدار
أكبر من 40	30	360	293.6	5.4
من 40 حتى 5	15	360	282.4	4.1
أصغر من 5	3	155	158.9	3.0

ــ يتم حساب الوزن الحجمى للركام كما يلى :

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V_1}$$

ــ يمكن حساب النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام كما يلى :

$$V\% = \left(\frac{P * \gamma_W - \gamma}{P * \gamma_W}\right) * 100$$

حيث :

$V\%$ = النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام .

P = الوزن النوعى الظاهرى لحبيبات الركام كما تم تعيينها فى اختبار تعيين الوزن النوعى الظاهرى للركام (اختبار رقم 1-15-4) .

γ_W = كثافة الماء = 1 طن/م^3 .

γ = الوزن الحجمى للركام (طن/م^3) .

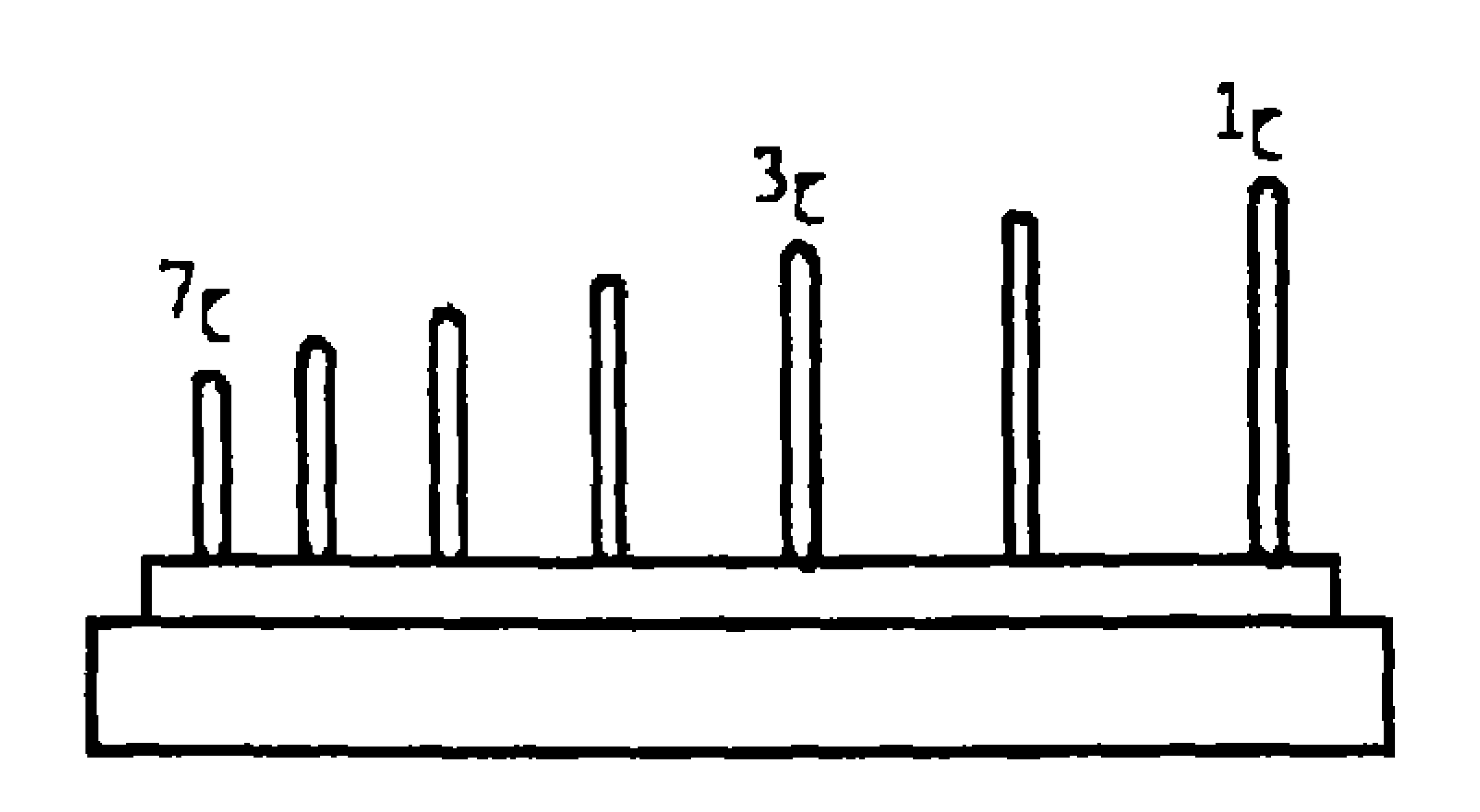
1ــ15ــ6 اختبار تعيين معامل العصوية (معامل الإستطالة) للركام الكبير:
Elongation Index of Coarse Aggregate:

ــ الهدف هو تحديد معامل العصوية والذى يعرف بأنة النسبة الوزنية للركام الذى يزيد طول حبيباته على 1.8 مرة قطر المقاس المتوسط وذلك منسوبا الى وزن عينة الركام الكلى .

ــ يستخدم مقياس طول معدنى.

ــ يتم إجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية المبينة بجدول (1-19)

ـ يتم تعيين الوزن الجاف لكل جزء محجوز من العينة على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل 50 مم الذى يتم إستبعادة ويتم إستبعاد الركام الأصغر من 6.3 مم ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء .
ـ يقسم الركام الى 6 مقاسات (المقاس من 50 الى 37.5 ، المقاس من 37.5 وحتى 28 ....الخ) كما بجدول (1-20) وأى مقاس يحدد وزن ركام هذا المقاس وليكن M1 .
ـ يمرر أفقيا باليد حبيبات المقاس بين حائلين معدنيين المسافة بينهما تساوى 1.8 القطر المتوسط للمقاس كما هو موضح بمقياس العصوية بشكل (1ـ20).



شكل (1ـ20) جهاز معامل العصوية

ـ حدود وزن الحبيبات التى لاتمر من المقاس ولتكن M2 .

ـ معامل العصوية = $\frac{\text{مجموع الحبيبات التى لاتمر } M2}{\text{مجموع وزن الركام الأصلى } M1} \times 100$

جدول (1-19) المناخل القياسية

مقاس المنخل (مم)
50
37.5
28.0
20.0
14.0
10.0
6.3

جدول (1-20) بيانات تعيين معامل العصوية للركام

مقاس حبيبات الركام مناخل الإختبار (مم)			المسافة بين المسامير بمقياس الطول * (مم)	المسافة بين الحائلين	أقل وزن للجزء المختبر (كجم)
100%مار	100%محجوز	المقاس المتوسط			
50.0	37.5	44.25	0.3 ± 78.7	ح1-ح2	35
37.5	28.0	32.75	0.3 ± 59.0	ح2-ح3	15
28.0	20.0	24.00	0.3 ± 43.2	ح3-ح4	5
20.0	14.0	17.00	0.3 ± 30.6	ح4-ح5	2
14.0	10.0	12.00	0.2 ± 21.6	ح5-ح6	1
10.0	6.3	8.15	0.2 ± 14.7	ح6-ح7	0.5
* هذا المقاس يساوى 1.8 مرة من متوسط مقاس المناخل .					

مثال $78.7 = 1.8 \frac{(37.5 + 50)}{2}$.

* الجهاز سبعه حوامل من ح1 وحتى ح7 .

1ـ15ـ7 اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير:

Flakiness Index of Coarse Aggregate:

ـ الهدف هو تعيين معامل التفلطح للركام الكبير .

ـ يعرف بأنه النسبة الوزنية للركام الذى يقل سمك حبيباته عن 0.6 من المقاس المتوسط وذلك منسوباً الى وزن عينة الركام الكلى .

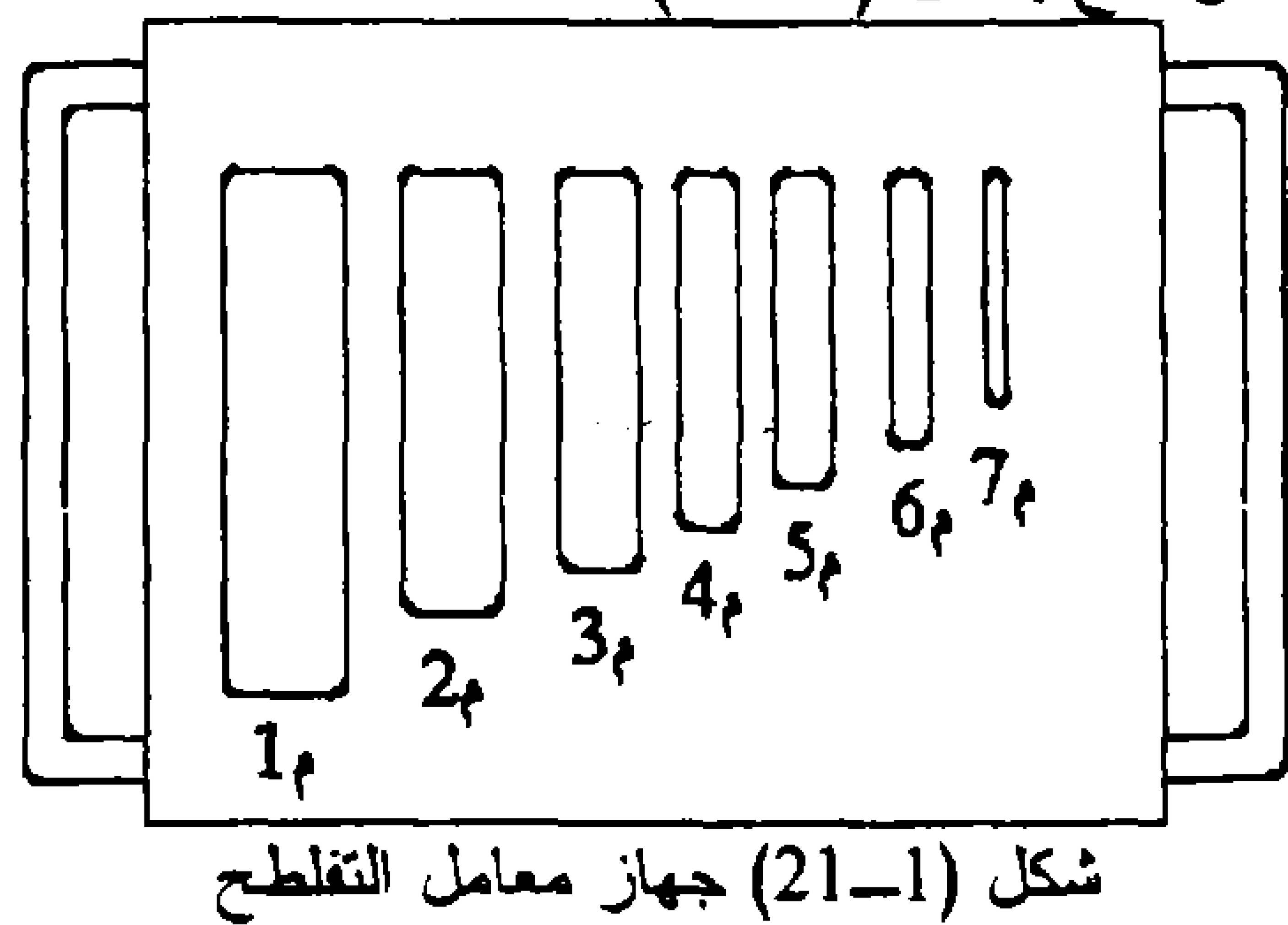
ـ يتم إجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية المبينة بجدول (1-21) .

ـ يتم تعيين الوزن الجاف لكل جزء من العينة محجوز على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل 63 مم الذى يستبعد هو والمار من منخل 6.3 مم . ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء .

ـ يقسم الركام بذلك الى سبعة مقاييس (المار من منخل 63 والمحجوز على منخل 50 ، المار من منخل 50 والمحجوز على منخل 37.50........ الخ) .

ـ يوزن كل مقاس وليكن M1 .

ـ بإستخدام اليد تمرر حبيبات كل مقاس رأسيا من خلال السمك بالفتحه المناسبه من فتحات مقياس السمك المعدنى الموضح بشكل (1ـ21).



شكل (1ـ21) جهاز معامل التفلطح

ــ إحسب وزن حبيبات الركام التى تمر من المقياس ولتكن M2 .

ــ معامل التفلطح للركام = $\frac{\text{مجموع وزن الحبيبات التى تمر من الفتحات } M2}{\text{مجموع وزن الركام } M1}$

جدول (1-21) بيانات تعيين معامل التفلطح للركام

مقاس حبيبات الركام			عرض الفتحة بمقياس التفلطح (مم)	أقل وزن للجزء المختبر** (كجم)
مناخل الإختبار (مم)				
100%مار	100%محجوز	المقاس المتوسط		
63.0	50.0	م1	33.9 ± 0.3	50
50.0	37.5	م2	26.3 ± 0.3	35
37.5	28.0	م3	19.7 ± 0.3	15
28.0	20.0	م4	14.4 ± 0.15	5
20.0	14.0	م5	10.2 ± 0.15	2
14.0	10.0	م6	7.2 ± 0.1	1
10.0	6.3	م7	4.9 ± 0.1	0.5

مثال $33.9 = 0.6 \left(\frac{50 + 63}{2}\right)$.

* عرض الفتحة يمثل سمك الحبيبه ويمثل 0.6 من القطر المتوسط .

** الوزن يمثل وزن الركام الذى يجرى علية الإختبار طبقاً للمقاس الإعتبارى الأكبر .

1ــ15ــ8 اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن:

Determination of Clay and Other Fine Materials in Aggregates by Weight:

ــ يهدف هذا الاختبار لتحديد المواد الناعمة ذات المقاس أقل من 75 ميكرون (منخل رقم 200)

ــ فى حالة الركام الصغير تؤخذ عينة لايقل وزنها عن 250 جم وفى حالة الركام الكبير أو الشامل يكون وزن عينة الاختبار كما هو مبين بجدول (1-22) .

ــ يتم تجفيف عينة الاختبار فى الفرن حتى (110± 5) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن W1 .

ــ توضع العينة على منخل مقاس 141 ميكرون ويوضع أسفلة المنخل رقم مقاس 75 ميكرون

ــ يتم إزالة المواد الطينية والناعمة عن طريق سكب ماء الغسيل مباشرة فوق المنخلين مقاس 75 ميكرون ، ومقاس 141 ميكرون .

ــ تكرر الخطوتين السابقتين على نفس العينة حتى يصبح ماء الغسيل رائقاً تماماً .

ــ تجفف العينة المحجوزه على المناخل فى الفرن حتى (110±5) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن W2.

ــ تحسب النسبة المئوية بالوزن للطين والمواد الناعمة بالركام من العلاقة .

$$\frac{W1-W2}{W1} X100$$

جدول (1-22) أوزان عينة اختبار نسبة الطين والمواد الناعمة الأخرى بطريقة النخل

المقاس الاعتبارى الاكبر للركام (مم)	اقل وزن لعينة الاختبار
9.5 - 4.75	5 كجم
19.0 - 9.5	15 كجم
37.5 - 19.0	25 كجم
37.5 >	50 كجم

1ـ15ـ9 اختبار تعيين معامل التهشيم للركام الكبير:

Test Method for Determination of Coarse Aggregate Crushing Value:

ـ يهدف هذا الاختبار لتعيين مقاومة الركام الكبير للتهشيم والتى تعطى مقياساً نسبياً لمدى مقاومة الركام الكبير للتهشيم تحت تأثير حمل ضغط تدريجى . ومعامل التهشيم هو النسبة المئوية المارة بالوزن من المنخل القياسى 2.36 مم وذلك بعد تعريض عينة الاختبار لحمل ضغط تدريجى قدره 400 كيلو نيوتن .

ـ هذا الاختبار لا يصلح للركام الذى يعطى معامل تهشيم أكبر من30، وفى هذه الحالة ينصح باستخدام اختبار تعيين الحمل المسبب لنسبة 10% نعومة والمبين فى BS 812 Part 111-90

ـ يستعمل الجهاز المبين فى شكل (1ـ22) والذى يتكون من إسطوانة مفتوحه من الجهتين تجلس على قاعده ويوجد مكبس لنقل الحمل للركام.



شكل (1ـ22) جهاز معامل التهشيم

عينة الاختبار :

ـ تجفف عينة الاختبار بوضعها فى الصينية المعدنية داخل الفرن المهوى درجة حرارته 100 - 110درجة مئوية لمدة أربع ساعات ثم يبرد الركام .

ـ يستعمل فى اجراء الاختبار الركام المار من المنخل القياسى 14 مم والمحجوز على المنخل القياسى 10 مم .

خطوات الاختبار :

ــ توضع الاسطوانة الصلب المفتوحة فى مكانها على القاعدة .

ــ توضع عينة الاختبار فى الاسطوانة الصلب على ثلاث دفعات متساوية تقريبا وتدمك كل دفعة 25 مرة بواسطة قضيب الدمك ثم يسوى سطح الركام فى الاسطوانة ويوضع فوقها المكبس الصلب ويراعى عدم حشر المكبس فى الاسطوانة .

ــ توضع الاسطوانة والقاعدة والمكبس فى مكنة اختبار الضغط ثم يحمل المكبس تدريجيا بمعدل منتظم حتى يصل حمل الضغط الى 400 كيلو نيوتن فى مدة 10 دقائق ثم يرفع الحمل بعد ذلك

ــ يفرغ الركام من الاسطوانة فى صينية معدنية وتوزن العينة لأقرب جرام وليكن وزنها (M1)

ــ تنخل العينة على المنخل القياسى 2.36 مم ونعين الوزن المار على المنخل وليكن M2.

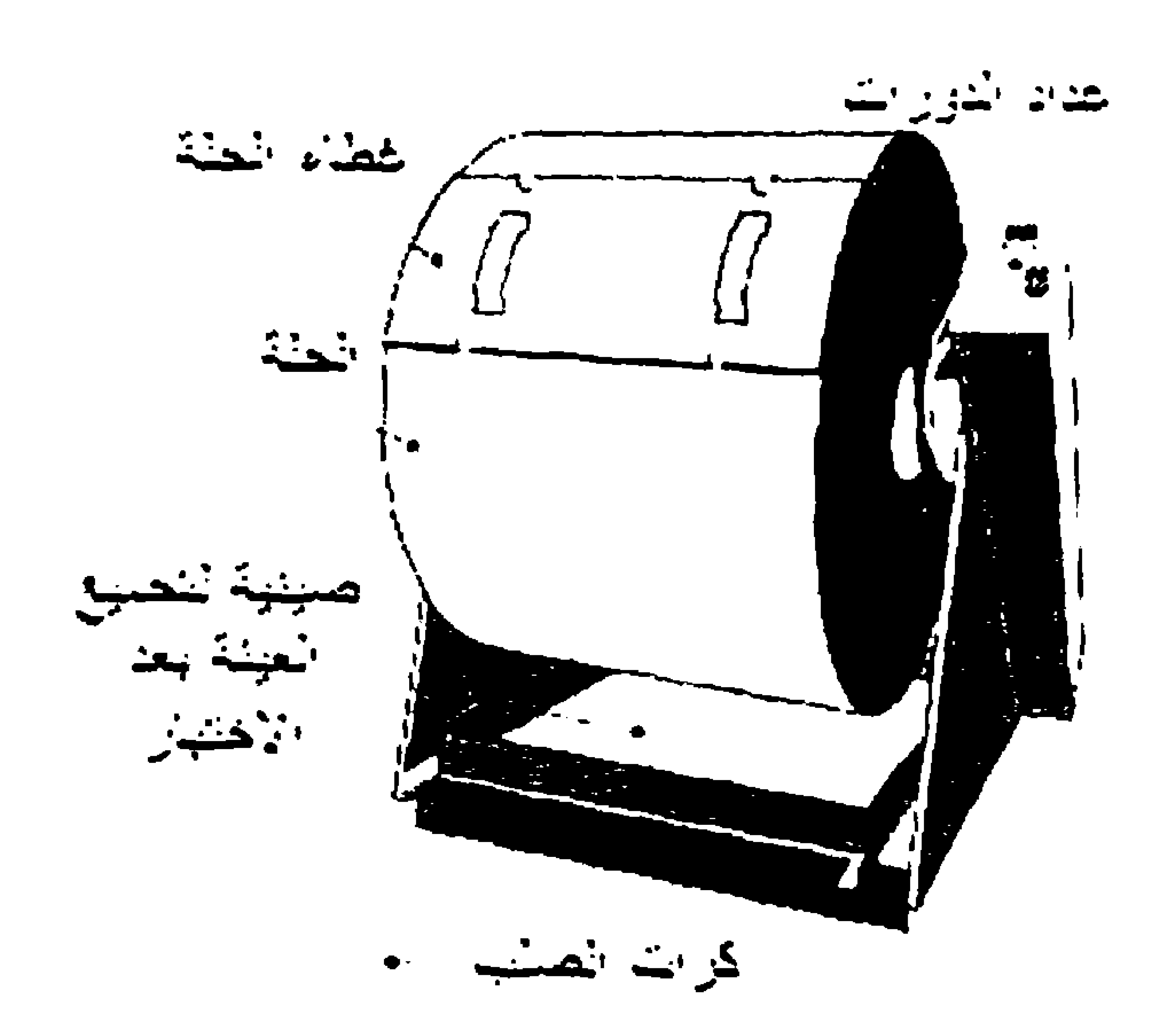
ــ يحسب معامل التهشيم = $\frac{M2}{M1} \times 100$

1ــ15ــ10 اختبار تعيين مقاومة الركام الكبير للبرى بجهاز لوس أنجلس:

Determination of Abrasion Resistance of Coarse Aggregates in Los Angeles Machine:

ــ يجرى هذا الاختبار لتعيين معامل البرى للركام الكبير باستخدام جهاز لوس أنجلس . والذى يعرض وزن قياسى من الركام لـــ 500 دورة صدم بكرات قياسية من الصلب .

ــ يستخدم جهاز لوس أنجلس للبرى – موضح بشكل (1ــ23).



شكل (1ــ23) جهاز لوس أنجلس للبرى

ـ يستخدم المناخل القياسية مقاس 16 مم ومقاس 1.7 مم .

ـ يستخدم كرات البرى من الحديد الزهر أو الصلب بقطر حوالى 48 مم ويتراوح وزن الكرة الواحدة بين 3.82 – 4.36 نيوتن .

ـ يفصل الركام الى مقاسات مختلفة عن طريق النخل على المناخل الموضح أرقامها بجدول (1ـ23).

ـ طبقا لتدرج الركام يقوم المهندس بتحديد منطقة التـدرج مـن أ وحتـى ز كمـا بجـدول (1ـ23).

ـ يتم وزن الركام المحجوز على المناخل طبقا لمنطقة التدرج .

ـ يخلط الركام وليكن وزنه W1 .

ـ يتم تحديد عدد كرات البرى طبقا لنوع تدرج العينة من جدول (1–24).

ـ توضع العينة وكرات البرى داخل مكنة لوس انجلس وتدار المكنة بسرعة 10–31 دورة فى الدقيقة بحيث يكون عدد الدورات الكلية 500 لكل من تدرجات العينة أ ، ب ، ج ، د و1000 دورة لكل من تدرجات العينة هـ ، و ، ز .

ـ يرفع الركام من المكنة وينخل مقاس 16 مم ثم ينخل المار من هذا المنخل على المنخل القياسى مقاس 1.7 مم .

ـ يؤخذ الركام الكلى المحجوز على المنخلين السابقين ويغسل جيداً بالماء للتخلص من المواد الناعمة الملتصقة بالسطح ثم يجفف فى فرن 105 – 110 درجة مئوية حتى ثبوت الوزن وليكن (W_2) .

ـ تحسب قيمة النسبة المئوية للبرى (Ab) .

$$Ab = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

جدول (1–23) تجميع عينة الاختبار بعد النخل

فتحة المنخل		تجميع وزن عينة الاختبار تبعا لنوع التدرج (جرام)						
المار من	المحجوز على	أ	ب	ج	د	هـ	و	ز
75.00	63.00	—	—	—	—	1500	—	—
63.00	50.00	—	—	—	—	1500	—	—
50.00	37.5	—	—	—	—	1500	5000	—
37.5	25.00	1250	—	—	—	—	5000	5000
25.00	19.00	1250	—	—	—	—	—	5000
19.00	12.5	1150	1500	—	—	—	—	—
12.5	9.5	1150	1500	—	—	—	—	—
9.5	6.3	—	—	1500	—	—	—	—
6.3	4.75	—	—	1500	—	—	—	—
4.75	2.38	—	—	—	5000	—	—	—

جدول رقم (1-24) تحديد عدد كرات البرى والوزن الكلى لها

نوع التدرج طبقاً لجدول 1	عدد الكرات
أ	13
ب	11
ج	8
د	6
هـ	11
و	11
ز	11

الباب الثانى
الأسمنت (Cement)

2ـ1 مقدمة ونظرة تاريخية:

الأسمنت هو المادة اللاحمه الهيدروليكيه الناتجة عن حرق (تكلـيس) الأحجـار الجيريـة والطين بنسب معينة بعد طحنها مع وجود مواد أخرى مثل الألومينا والحديد ، وبعد الحرق يتم طحنه بعد إضافة الجبس والأسمنت عند إضافة الماء إليه يتحول إلى مادة لدنة سهلة التـشغيل والتشكيل ، وبعد فترة زمنية تبدأ فى فقد لدونتها ويقال أنها شكت شكاً ابتـدائياً، وبعـد فتـرة أخرى تتصلب العجينة الأسمنتية التى فقدت لدونتها وتستطيع تحمل إجهاد صغير جداً ، ويقال أنها شكت شكاً نهائياً ، ومع زيادة عمر الخرسانة تكتسب العجينة مقاومة ضغط جيدة .

ويُستخدم الأسمنت فى إنتاج الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة وفى أعمال بناء الحوائط وفى إنتاج طوب البناء الأسمنتى وأعمال البياض ....إلخ.

قام الإنسان فى الأزمنة القديمة باستخدام الطين كمادة لاحمة عند تـصلبها، ثـم اسـتخدم المصريون القدماء مادة الجير والجبس كمادة لاحمة. واستخدم الرومانيون خليطاً من الجيـر والمواد البوزولانية كمادة لاحمة. وفى سنة 1756 بدأ سميتون فى الدراسة لإنتـاج أسـمنت هيدروليكى ناتج من حرق الحجر الجيرى الصلد الغير نقى والذى يحتوى على مواد طينيـة. وفى بداية القرن التاسع عشر قام العديد من الباحثين بإنتاج أسمنت ناتج من حـرق الحجـر الجيرى والطين مثل الفرنسى فيكات ، وبعد ذلك تمكن الإنسان من إنتاج الأسمنت الطبيعـى الناتج من أحجار الأسمنت الطبيعى. ثم قام جوزيف الإنجليزى فى إنتاج الأسمنت البورتلاندى الناتج من حرق الأحجار الجيرية والمواد الطينية بعد طحنهما وخلطهما وتنعيمهما. ثم تلى بعد ذلك العديد من الأبحاث التى عملت على تحسين خواص الأسمنت ، وتم صناعة الفرن الدوار الذى يُستخدم حتى اليوم.

وفى سنة 1900 أنشأ أول مصنع أسمنت فى منطقة المعصرة. وفى سنة 1911 أنشأ أول مصنع صغير فى الأسكندرية لإنتاج الأسمنت الطبيعى ثم توقف. وفى سـنة 1927 تأسـست شركة أسمنت طره ثم أنشأت شركة أسمنت حلوان فى سنة 1929. وفى عام 1948 تأسست شركة الأسكندرية لأسمنت بورتلاند بالمكس. وفى سنة 1956 تأسست الشركة القومية لإنتاج الأسمنت بالتبين. وتوالى إنشاء مصانع الأسمنت فى مناطق متعددة فى مصر. وفـى نهايـة القرن العشرين وبداية القرن الواحد والعشرين تم بيع العديد من الشركات للشركات الأجنبيـة فى إطار سياسة الخصخصة التى انتهجتها الحكومات المصرية فى تلك الفترة.

2ـ2 خامات الأسمنت البورتلاندى (Materials of Portland Cement):

2ـ2ـ1 الحجر الجيرى (Lime Stone):

وهو الخامة الرئيسية فى إنتاج الأسمنت. وهذه الأحجار يجب أن تكون غنيـة بكربونـات الكالسيوم (90-98%) وبها نسبة سليكا تصل إلى 5.5%. ولايمكن استخدام أحجار بها نسبة عالية من أكسيد الماغنسيوم أو أملاح الكلوريدات والكبريتات . ولايمكـن اسـتخدام أحجـار الدولوميت ، كما أنه يمكن استخدام الأحجار الطباشيرية .

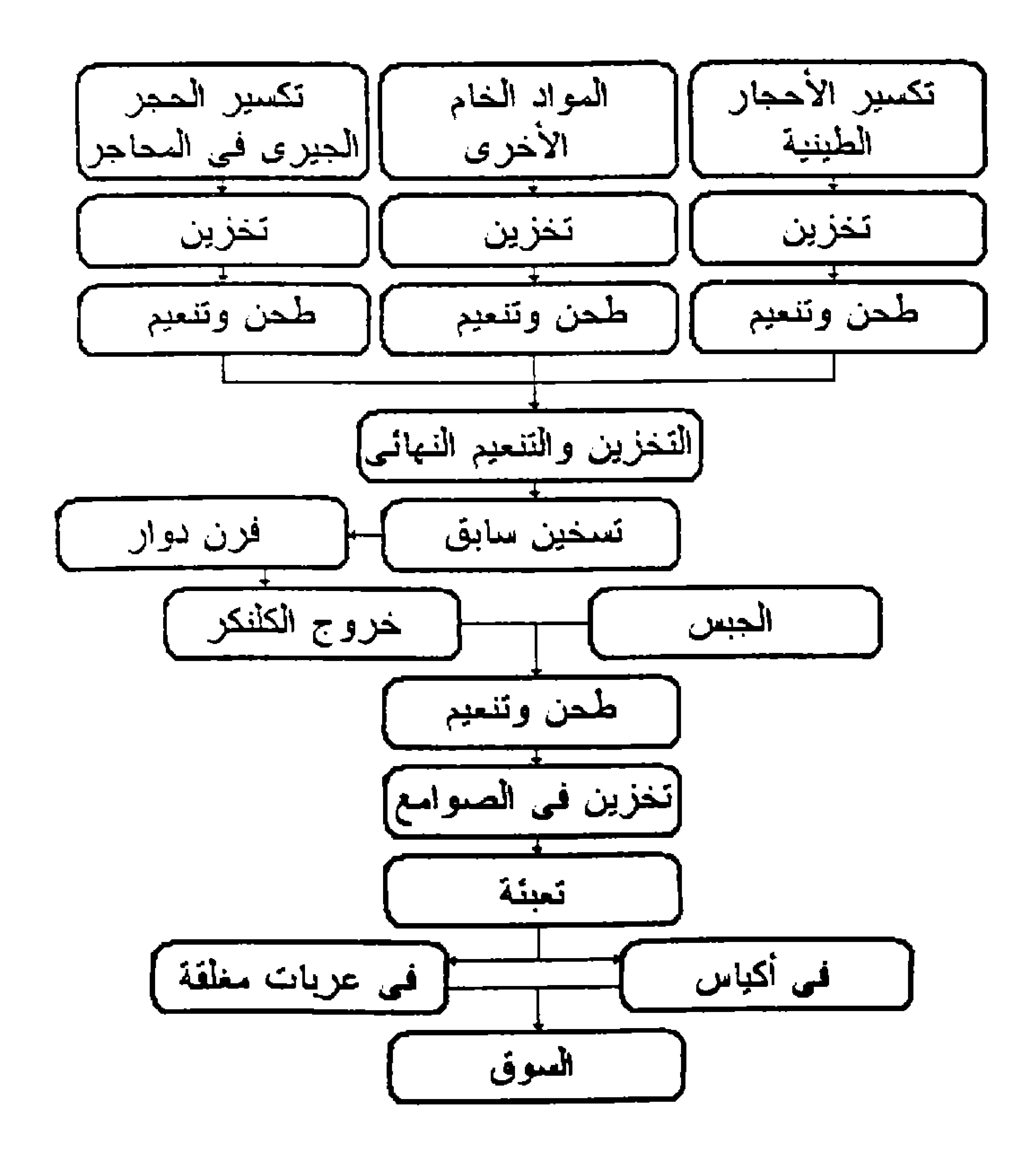
2-2-2 الطين أوالطمى (Clay or Silt):

وهو المصدر الرئيسى لأكسيد السليكون والألومينا فى الأسمنت بالإضافة لما يحتويه من أكسيد الماغنسيوم .

وعموماً فإن نسب استخدام الأحجار والمواد الطينية يجب أن تحقق محتوى كربونات الكالسيوم متوسط فى حدود 76 %، بينما يمثل الطين نسبة بين 24.5 و 32.5 %. وبالإضافة لأهمية وجود أكسيدى الحديد والألومينا على خواص الأسمنت فإنهما يساعدان فى تخفيض درجة انصهار الجير والطين.

3-2 صناعة الأسمنت (Cement Industry):

توجد طريقتين لتصنيع الأسمنت ؛ الطريقة الأولى هى الطريقة الجافة وفيها يتم خلط وتنعيم مكونات الأسمنت بحالتها الطبيعية ، أما الطريقة الثانية فيتم خلط المواد بعد إضافة الماء إليها ثم يتم طحنها فى وجود الماء. وهذه الطريقة الأخيرة لم تعد تستخدم لاستهلاكها الماء العذب و استهلاكها للطاقة اللازمة للتجفيف وزيادة التلوث. وشكل (2-1) يبين رسم تخطيطى للصناعة.



شكل (2-1) شكل تخطيطى لصناعة الأسمنت

وسنتناول فى مايلى خطوات مختصرة عن صناعة الأسمنت:

1. التحجير:

حيث يتم تكسير الأحجار فى المحجر ونقلها للمصنع حيث تكسر لقطع صغيرة.

2. طحن وتنعيم المادة الخامة مفردة:

حيث يتم التكسير والطحن والتنعيم فى طواحين ميكانيكية تحتوى على كرات من الصلب للوصول للتنعيم المطلوب.

3. طحن وتنعيم المواد مجتمعة معاً:

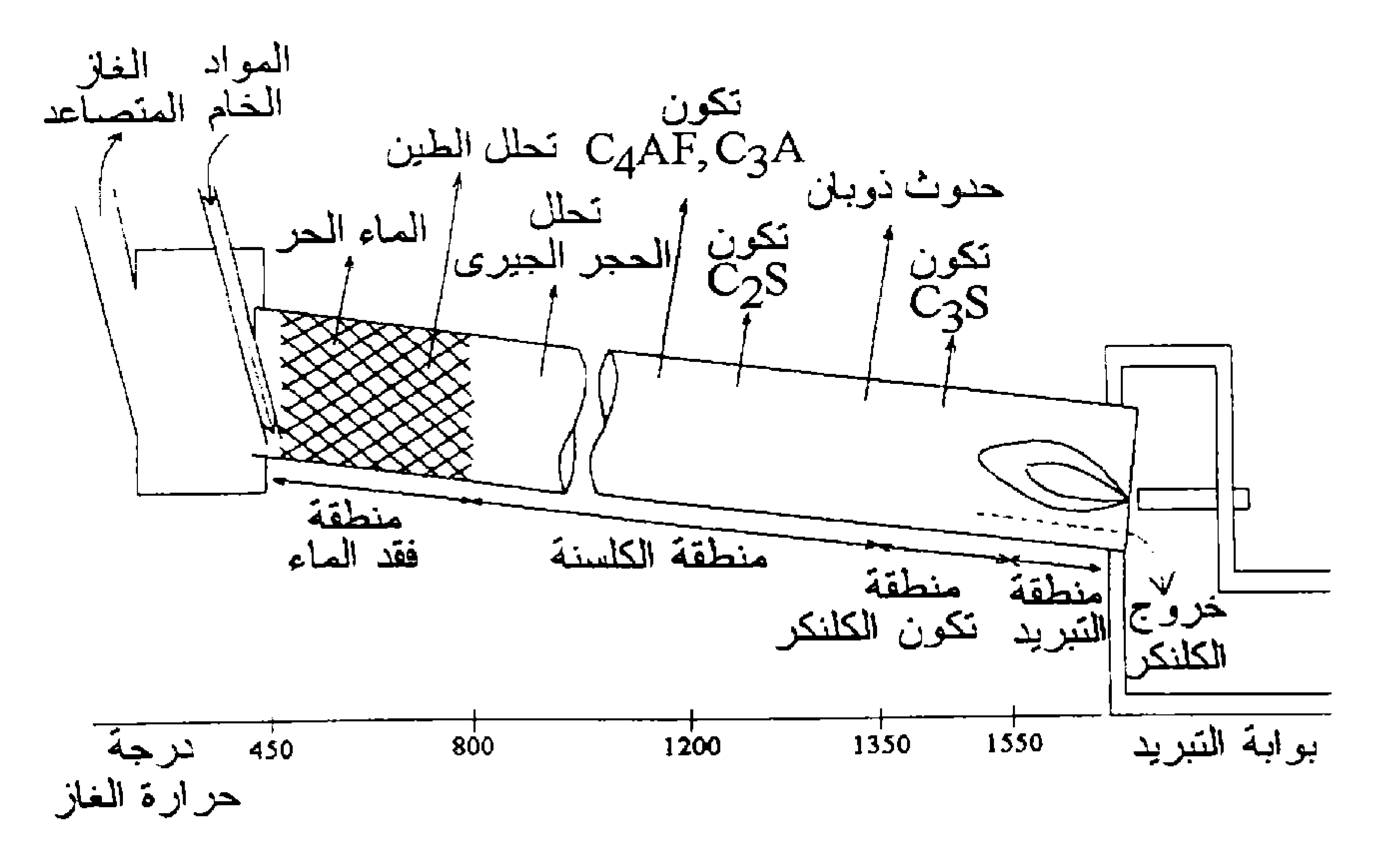
حيث يتم إدخال المواد الخام بالنسب المناسبة وخلطهم وتنعيمهم معاً.

4. تسخين المواد الخام:

يتم تسخين المادة الخام المخلوطة للتخلص من أى رطوبة سطحية.

5. عملية الحرق:

تتم عملية الحرق داخل الفرن الدوار، وهو فرن من الصلب المبطن بالطوب الحرارى وقطره حوالى 6 متر وطوله قد يصل إلى 180 متر، وهو مائل ويدور بسرعة قياسية، وتدخل الخامات من الجهة العلوية للفرن وتخرج من الجهة الأخرى (المنخفضة). وتتزايد درجة حرارة الفرن من 50 درجة مئوية عند المدخل وتصل لـ 1450 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق . أما درجة حرارة غاز التسخين فتتراوح بين 450 درجة مئوية عند المدخل وتصل إلى 1550 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق ، انظر شكل (2ــ2).



شكل (2ــ2) قطاع يوضح مناطق الحرق بالفرن الدوار

ويمكن تلخيص مايحدث داخل الفرن كما يلى:

أ- منطقة طرد الماء الحر (Evaporation):

فى بداية الفرن حيث يتم إدخال الخامات تكون درجة الحرارة أكبر من درجة الغليان، فيبدأ الماء الحر الموجود فى الخامات فى الصعود على هيئة بخار ماء.

ب- منطقة الكلسنة (Calcinations):

ترتفع درجة الحرارة فى منطقة الكلسنة ويبدأ الطين فى التحلل لأكاسيده ، ثم يتبعه تحلل كربونات الكالسيوم (حجر جيرى) حيث يفقد ماء اتحاده وثانى أكسيد الكربون. تبدأ الأكاسيد فى الاتحاد مع بعضها لتكون المركبات الأولية للأسمنت (ألومينات حديد رباعى الكالسيوم وألومينات ثلاثى الكالسيوم) ، وهذه المواد تساعد على تكوين المركبات الرئيسية للأسمنت عند نهاية منطقة الكلسنة ، وخاصة تكون سليكات ثلاثى الكالسيوم . ويمكن وصف تكون المركبات الأربعة الرئيسية للأسمنت كما يلى :

- يتحد كل أكسيد الحديد الموجود مع نسبة من الألومينا ونسبة من أكسيد الكالسيوم لتكون ألومينات حديد رباعى الكالسيوم . ثم يتحد ماتبقى من أكسيد الألومينا مع جزء من أكسيد الكالسيوم ، ويتكون ألومينات ثلاثى الكالسيوم . يتحد أكسيد السليكون مع جزء من أكسيد الكالسيوم ليتكون سليكات ثنائى الكالسيوم ، ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة وحدوث ذوبان (Formation of Melt) يتحد جزء من سليكات ثنائى الكالسيوم مع جزء من أكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات ثلاثى الكالسيوم . ويتبقى جزء صغير من أكسيد الكالسيوم وأكسيد الماغنسيوم حر بدون اتحاد . ويسمى الأسمنت فى تلك الحالة بالكلنكر .

ج- التبريد (Cooling):

فى نهاية الفرن يتم تبريد الكلنكر، وهو ذو لون رمادى وحبيباته تكون مثل الركام.

6. خلط الكلنكر بالجبس والطحن والتنعيم :

يتم إضافة الجبس بنسبة قياسية (حوالى 3.5% من وزن الأسمنت) إلى الكلنكر. ويتم طحنهما وتنعيمهما بحيث نحقق المساحة السطحية المطلوبة للأسمنت.

7. التخزين والتعبئة:

يعبأ الأسمنت فى أكياس قياسية لتحميه من الرطوبة، ووزن كل كيس 50 كجم فى المتوسط. ويمكن أن يخزن الأسمنت فى صوامع محكمة الغلق حتى يتم نقل الأسمنت للموقع فى عربات مغلقة.

2—4 أكاسيد الأسمنت:

يتكون الأسمنت من أكاسيد الكالسيوم والسليكون والألومينا والحديد والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكبريت وجدول رقم (2—1) يحتوى على تلك الأكاسيد ونسبها الوزنية.

جدول (2—1) مثال تحليل كيميائى لأكاسيد الأسمنت البورتلاند العادى

الأكاسيد	الصورة المختصرة	الاسم الشائع	النسبة الوزنية المئوية
CaO	C	الجير	63.0
SiO_2	S	السليكا	22.0
Al_2O_3	A	ألومينا	6.0
Fe_2O_3	F	أكسيد الحديديك	2.5
MgO	M	المغنسيا	2.6
K_2O	K	القلويات	0.6
Na_2O	K	القلويات	0.3
SO_3	$\bar{S}$	ثالث أكسيد الكبريت	2.0

2ـ5 مركبات الأسمنت:

كما سبق ذكره فإن الأسمنت يتكون من خمسة مركبات بعد صناعته وهى:

1) سليكات ثلاثى الكالسيوم = C_3S.
2) سليكات ثنائى الكالسيوم = C_2S.
3) ألومينات ثلاثى الكالسيوم = C_3A.
4) ألومينات حديدى رباعى الكالسيوم = C_4AF.
5) الجبس = $C\bar{S}H_2$.

وهذه المركبات ونسبها المختلفة هى التى تحدد نوع وخواص الأسمنت، وسوف يتم التعرف على ذلك لاحقاً. وجدول (2ـ2) يعطى مثالاً للنسب الوزنية للمركبات المختلفة داخل الأسمنت المعبأ أو السائب، ويعطى بالجدول الصيغة الكيميائيـة (Chemical Formula) والـصيغة الكيميائية المختصرة التى تساعد المهندسين المدنيين والمعماريين على تفهم الموضوع بسهولة.

والمركبات الرئيسية يمكن حسابها بعد تحليل الأسمنت كميائيا، ثم يتم التطبيق فى معادلـة Bogue والتى يمكن اختصارها فى مايلى:

- الحالة الأولى.

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد ≥ 0.64

$A/F \geq 0.64$ .... (2ـ1)

جدول (2ـ2) مثال بنسب تكوين المركبات الأربعة فى الأسمنت البورتلاندى العادى (1*) ومنخفض الحرارة (2*) وسريع التصلد (3*)

الصيغة الكيميائية	الصيغة المختصرة	% للمحتوى بالوزن لأنواع مختلفة من الأسمنت		
		1 *	2 *	3 *
$3CaO.SiO_2$	C_3S	65	33	73
$2CaO.SiO_2$	C_2S	8	38	2
$3CaO\ Al_2O_3$	C_3A	14	15	7
$4Ca.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	9	10	14

يتم التطبيق فى المعادلات من 2-2 الى 2-5 بمحتويات الأكاسيد للحصول على المركبات

$C_3S = 4.071C - 7.600S - 6.718A - 1.430F - 2.852S$ .... (2ـ2)

$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S$ .... (2ـ3)

$C_3A = 2.650A - 1.692F$ .... (2ـ4)

$C_4AF = 3.043F$ .... (2ـ5)

- الحالة الثانية:

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد < 0.64 نطبق فى المعادلات التالية :

$A/F < 0.64$ .... (2ـ6)

$C_3S = 4.071C - 7.6S - 4.479A - 2.859F - 2.852S'$ .... (2ـ7)

$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S$ .... (2ـ8)



$$C_3A = 0.0 \qquad \text{............ (9—2)}$$

$$C_4AF = 2.100A + 1.702F \qquad \text{.......... (10—2)}$$

2—6 إماهة الأسمنت وتأثير مركبات الأسمنت على خواص الأسمنت:

Cement Hydration & Effect of Cement Compounds on Cement Properties:

عند إضافة ماء الخلط للأسمنت تبدأ المركبات في الاتحاد مع الماء. ولتسهيل تتبع عمليات التفاعل سنفترض أن كل مركب سيتحد مع الماء على حده وهو فرض مشكوك في صحته.

2—6—1 إماهة سليكات الكالسيوم:

$$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH + High\ Heat \qquad \text{............ (11—2)}$$

سليكات ثلاثي الكالسيوم + 6 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهه (جل الأسمنت) + 3 جزئيات هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) + حرارة مرتفعة

$$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH + Low\ Heat \qquad \text{....... (12—2)}$$

سليكات ثنائي الكالسيوم + 4 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهه (جل الأسمنت) + هيدروكسيد كالسيوم + حرارة ضعيفة

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن اتحاد سليكات الكالسيوم بنوعيه ينتج سليكات كالسيوم مماهه (C-S-H). وهذه المادة في مراحلها الأولى تكون لدنة، وهي مادة جيلاتينية مثل الغراء، وهي عند صب الخرسانة أو تناول المونة تساعد على حسن تشغيل الخرسانة أو المونة وبمرور الوقت تبدأ هذه المادة في التصلب وتتلاحم مع بعضها أو مع الرمل أو الركام ، وبمرور الوقت تنتج مونة أو خرسانة متصلدة قوية جداً. وهذه المادة (C-S-H) مادة ضعيفة التبلور ولكنها تتميز بالثبات الكيميائي حيث أنها لا تهاجم إلا بملح كبريتات الماغنسيوم .

وهذه المادة هي المساهم الحقيقي في إكساب الخرسانة أو المونة الأسمنتية مقاومتها. ويلاحظ أن سليكات ثلاثي الكالسيوم تكون أسرع في التفاعل ، وهي المسئولة عن المقاومة المبكرة. والحرارة المنبعثة من اماهتها عالية لذلك يجب الاهتمام بالمعالجة برش الماء المبكر، ولذلك تزيد نسبة C_3S في الأسمنت سريع التصلد (انظر جدول 2—2). أما سليكات ثنائي الكالسيوم فتفاعله بطئ والحرارة المنبعثة منه ضعيفة ، لذلك فهو يساعد في المقاومة المتأخرة للأسمنت ، ولهذا السبب تزيد نسبته في الأسمنت منخفض الحرارة (انظر جدول 2—2).

من المعادلة (2—11)، (2—12) يتضح أن إماهة سليكات الكالسيوم ينتج عنها الجير (هيدروكسيد الكالسيوم CH) ، وهو عبارة عن مادة جيدة التبلر وبلوراتها تكون كبيرة يمكن تمييزها بسهولة بالميكروسكوب العادي أو الضعيف ، وبلورته عبارة عن منشور مثمن المقطع. ومن فضل الله الذي قدّر اكتشاف الأسمنت عندما احتاجه الإنسان وجود مادة CH التي تحفظ للخرسانة وسط قلوي درجة قلويته (PH) تساوي 13، وهذا الوسط القلوي هو الذي يحفظ صلب التسليح بدون صدأ، ولايحدث الصدأ إلا عندما تفقد الخرسانة قلويتها نتيجة تفاعل CH بمواد كيميائية خارجية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون كما سيذكر بالتفصيل في باب التحملية .

2ـ6ـ2 إماهة ألومينات ثلاثى الكالسيوم:

هذا المركب شره للاتحاد مع الماء، وإذا لم يضاف الجبس للأسمنت فإن الأسمنت سوف يشك سريعا. ولذلك فإن C_3A يتحد مع الجبس والماء ، ويأخذ هذا التفاعل وقتاً يسمح بتشغيل مونة الأسمنت أو الخرسانة، ويتم هذا التفاعل كما يلى:

- أولاً: فى حالة وجود كمية صغيرة من C_3A.

$$C_3A + 3C\bar{S}H_2 + 26H \rightarrow C_6A\bar{S}_3H_{32} + High\ Heat \qquad \ldots\ldots\ (13\text{—}2)$$

سليكات ثلاثى الكالسيوم + جبس + ماء ⟵ إترنجيت + حرارة عالية

ومادة الإترنجيت (كبريتات الكالسيوم الألومينية المماهه) هى مادة متبلـرة علـى هيئـة منشور مقطعه ثمانى ، ولكن نسبة طول المنشور للقطر كبيرة جداً إذا ما قـورن ببلـورات CH، ولذلك تظهر مثل الإبر. وهى بلورات ليست كبيرة بحيث يـصعب مـشاهدتها تحـت الميكرسكوب العادى.

- ثانيا: فى حالة وجود كمية كافية من C_3A .

يتحد الإترنجيت المتكون من الاتحاد السابق بالمعادلة السابقة مع جزء اخر مـن C_3A وينتج مركب السلفوألومينات.

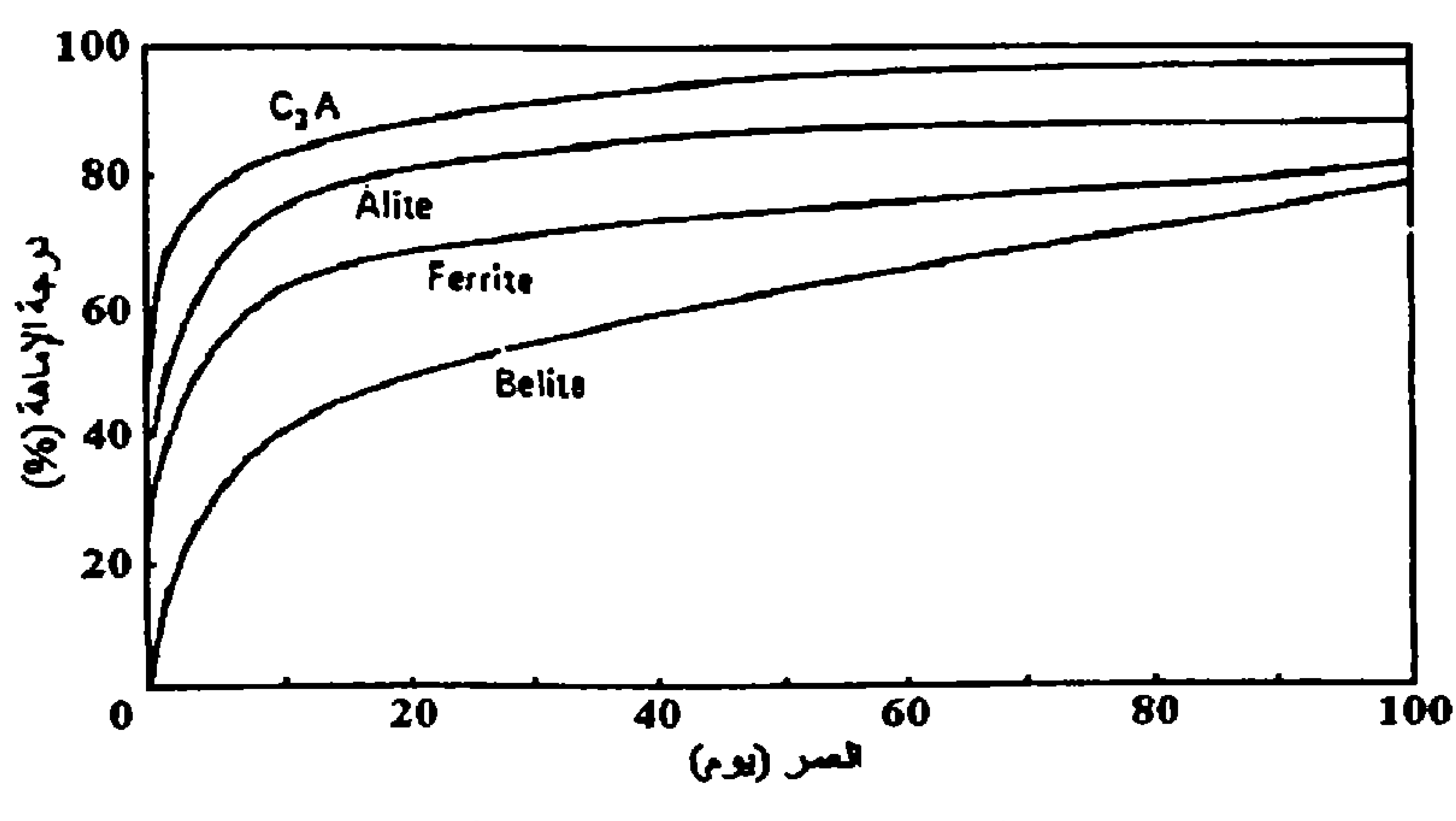
$$2C_3A + C_6A\bar{S}_3H_{32} + 4H \rightarrow 3C_4A\bar{S}H \qquad (14\text{—}2)$$

اما C_4AF فيتحد مع الجبس والماء ويعطى مركبات لاتؤثر كثيراً على خواص الأسمنت

2ـ6ـ3 تأثير نواتج إماهة الأسمنت على معدلات التفاعل وعلى مقاومة الضغط:

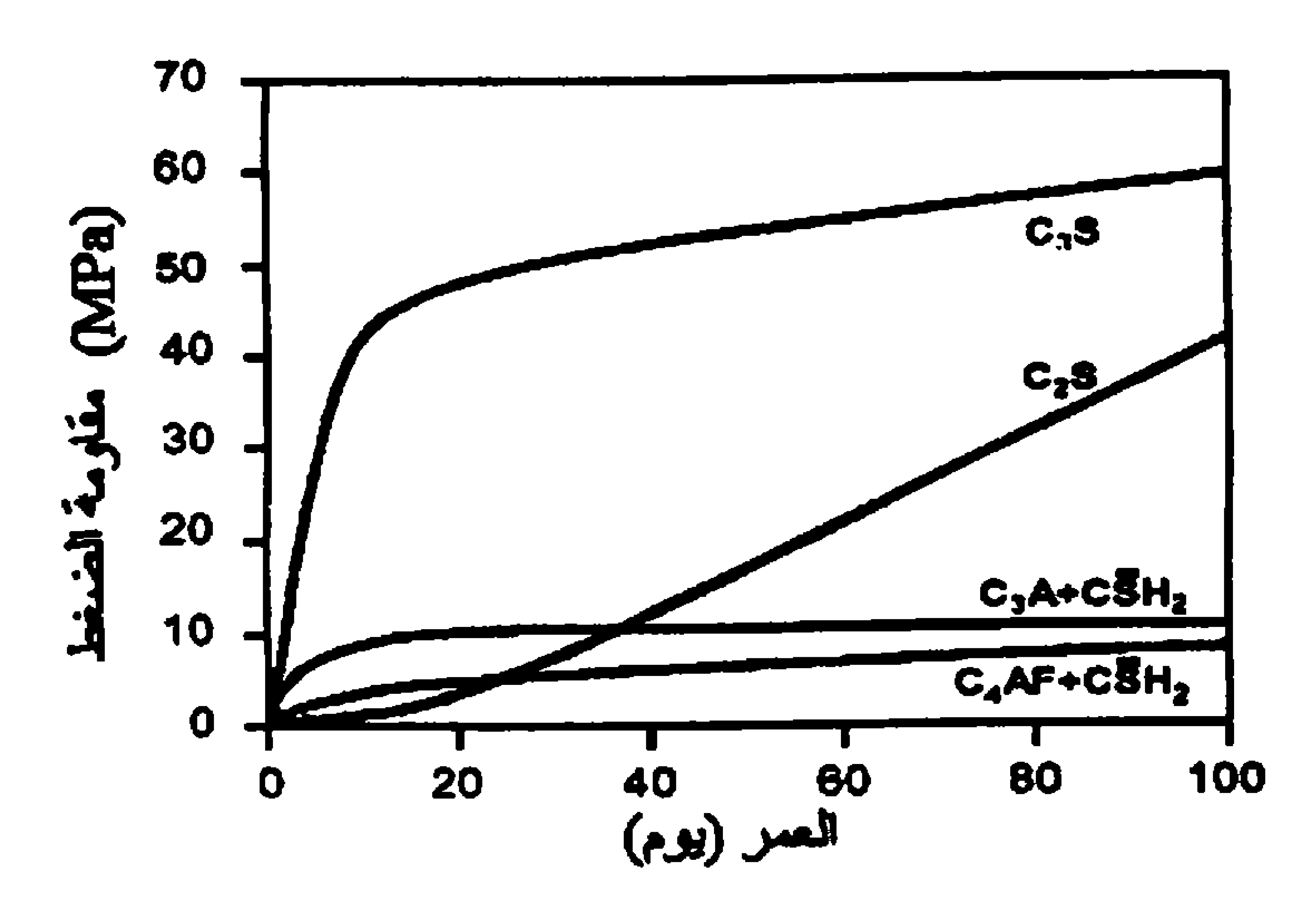
Effect of Cement Hydration Products on Rate of Hydration and Compressive Strength:

شكل (2ـ3) يوضح معدل إماهة مركبات الأسمنت البورتلاندى العادى، والذى يتضح منه أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم هو أكثرهم إماهة مع الجبس والماء يليـه Alite (C_3S) يليـه Ferrite (C_4AF) يليه Belite (C_2S).



شكل (2ـ3) معدل إماهة مركبات الأسمنت

أما شكل (2ـ4) فيوضح مساهمة كل مركب فى مقاومة الضغط، والذى يتـضح منـه أن C_3S , C_3A هما المؤثران فى المقاومة المبكرة للأسمنت (من ثلاثة إلى أربعة أسابيع).

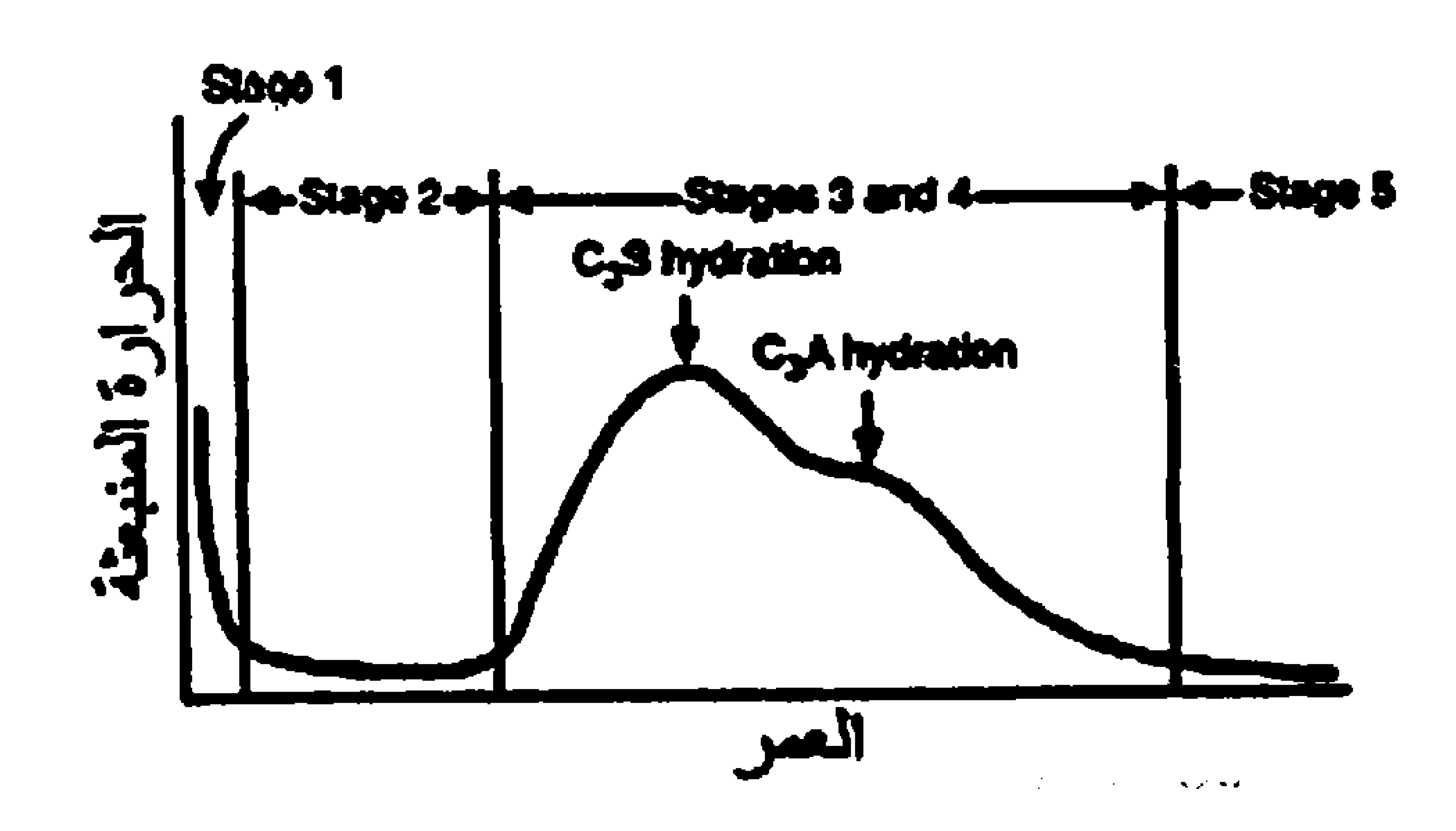


شكل (2ـ4) مساهمة المركبات المختلفة للأسمنت فى مقاومة الضغط

أما C_2S فيؤثر على المقاومة فى المدى البعيد. وعموماً فإن المقاومة القصوى للأسـمنت يتشارك فيها C_3S, C_2S مناصفة.

2ـ6ـ4 درجة حرارة الإماهه (Heat of Hydration):

مما سبق يتضح أن إماهة الأسمنت ينتج حرارة. وتكون الحرارة الناتجة من إماهة C_3A, C_3S مرتفعة، ويمكن تقدير كمية الحرارة المنبعثة خلال سنة لكـل مـن C_3S، C_3A، C_2S، C_4AF بـ 490، 225، 1340، 660 جول/جم على الترتيب . وشكل (2ـ5) يوضح العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن المار من لحظة الخلط .

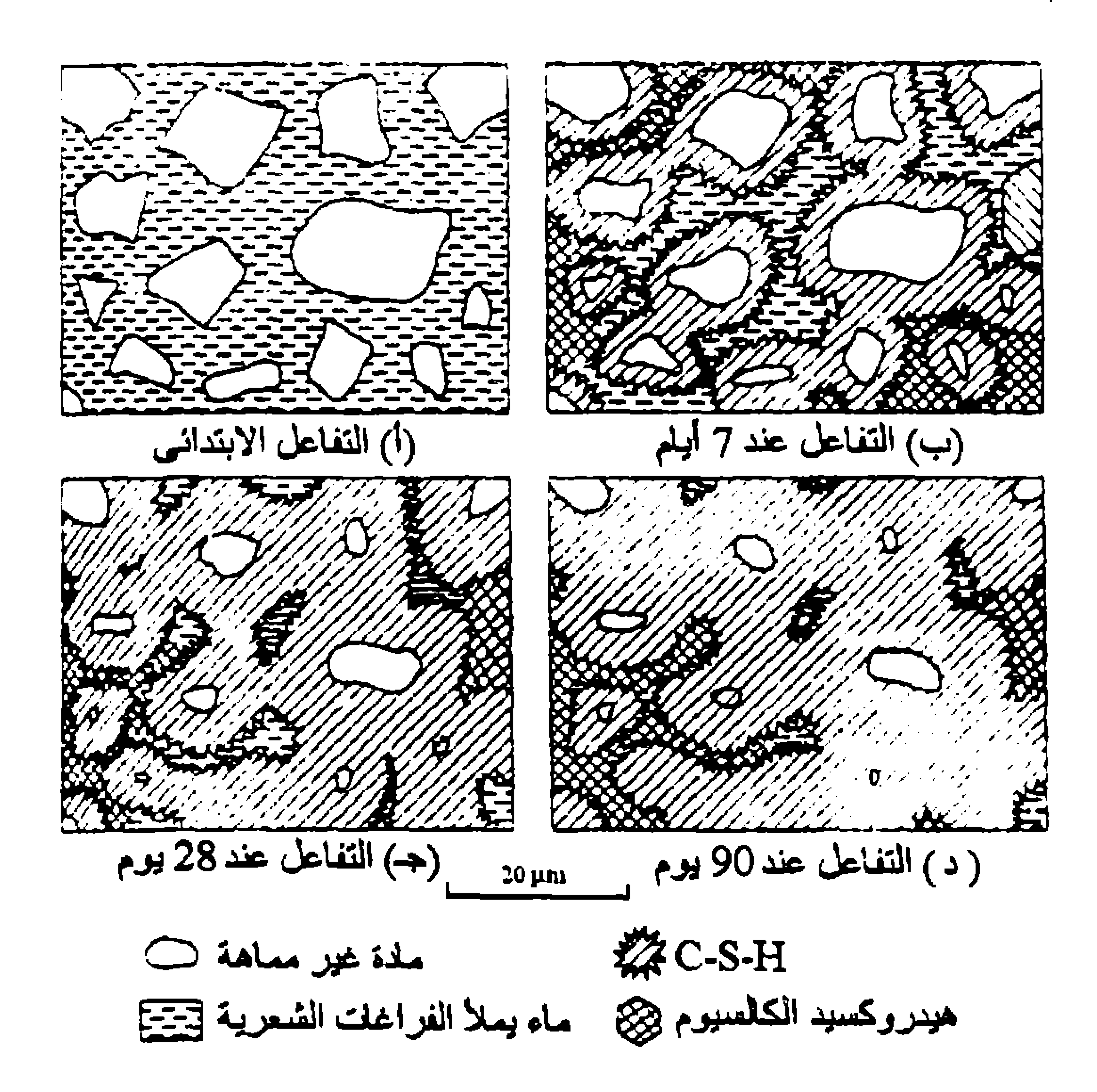


شكل (2ـ5) العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن

ويلاحظ من الشكل السابق أن ارتفاع درجة الحرارة فى المرحلة الأولى والثانيـــة والتـــى تكون فى الساعات الأولى (صفر- 4 ساعات) من الخلط لاينتج عنها أية خطورة إنشائية. أما الحرارة فى المرحلة الثالثة والرابعة والتى ترتفع فيها درجة الحرارة نتيجة إماهة C_3A، C_3S ويحدث خلالها الشك النهائى قد تؤدى إلى ظهور شروخ بالمونة أو الخرسانة. ولذلك يجـب الاهتمام بمعالجة الخرسانة والعمل على تخفيض درجة الحرارة فى الأجواء الحارة ، بإضافة ثلج أو تخفيض درجة حرارة ماء الخلط بحيث تنخفض درجة الحرارة فى المراحل المختلفة.

2ـ6ـ5 ميكانيكا الإماهه والتصلب (Hydration Mechanism and Hardening):

عند إضافة الماء للأسمنت يكون الأسمنت فى حالة عدم إماهة فى وسط من مـاء الخلـط (انظر شكل 2ـ6)، ومع مرور الزمن يتكون الجل C-S-H وهيدروكسيد الكالسيوم والنواتج الأخرى ، ثم يحدث الشك والتصلب.

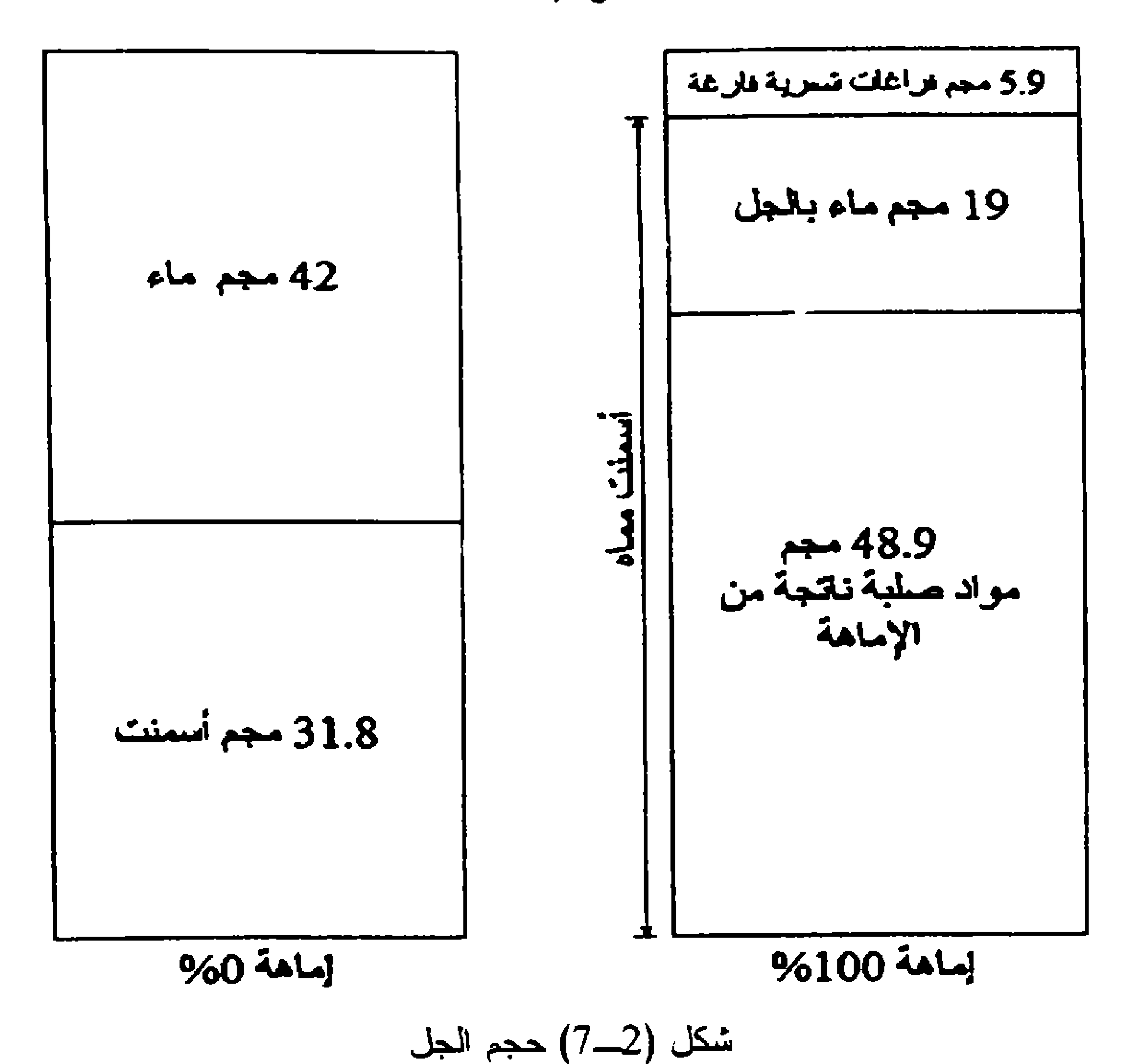


شكل (2ـ6) علاقة تخطيطية توضح تطور التركيب البنائى لإماهة الأسمنت

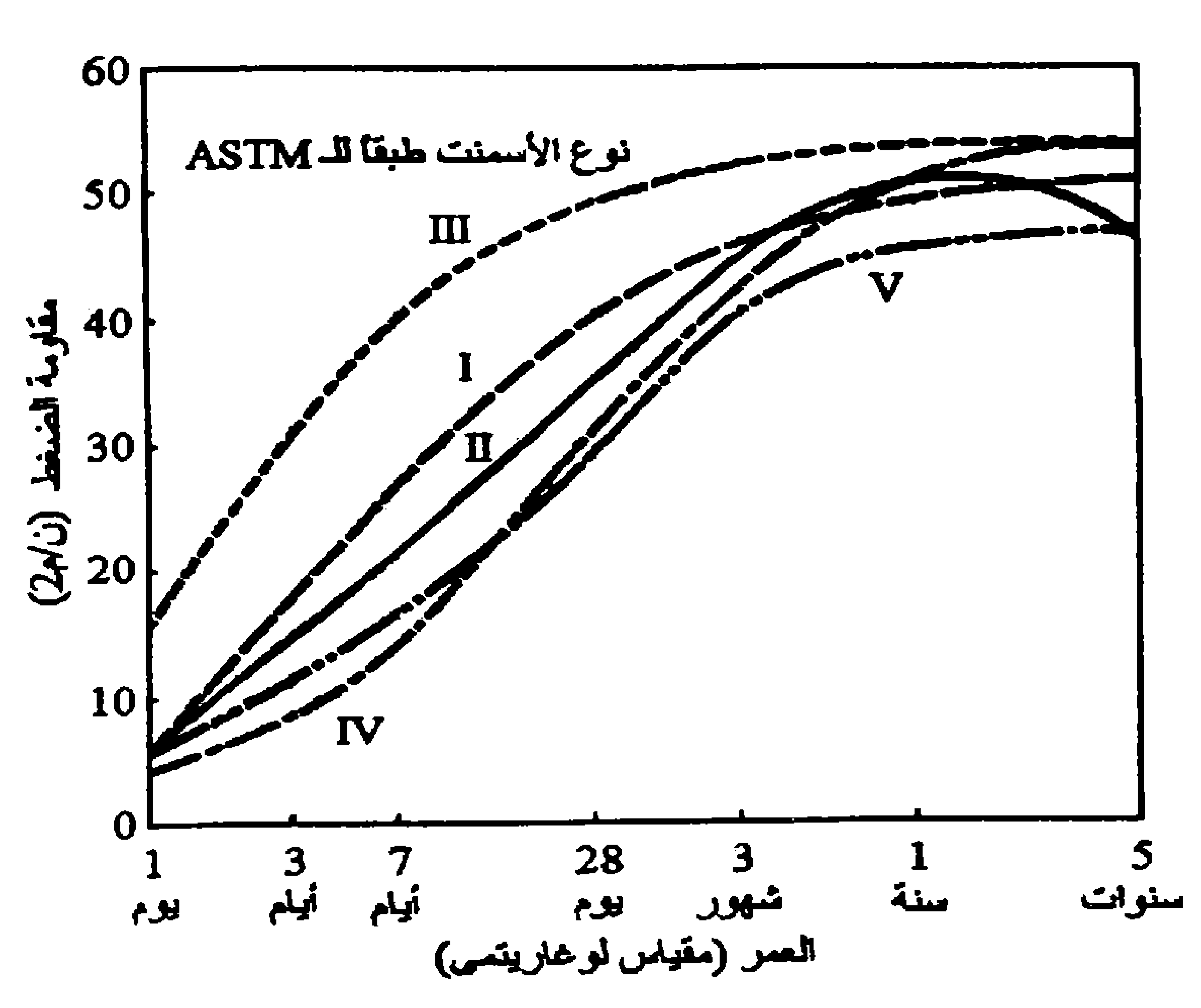
إن الجل يكون حجمه أكبر من حجم الأسمنت الأصلى (انظر شكل 2ـ7)، حيث يزيد حجم الأسمنت من 31.8 مليلتر إلى 48.9 مليلتر، ويحدث ذلك فى الأسـطح الخارجيـة لحبيبـات الأسمنت.

ومع مرور العمر تتفاعل أجزاء أخرى من الأسمنت ، وينتـشر الجـل الجديـد مخترقـاً المسارات الشعرية الموجودة فى الجل المتصلد، وتملأ الفراغات الموجودة بين الركام. ومادام هناك قليل من الماء موجود فى الخرسانة يستمر تكون الجل. وشكل (2ـ6) (ب) ثم (ج) ثـم

(د) يوضح كيفية زيادة C-S-H مع زيادة العمر. وأثبتت الأبحاث ان عملية تكون الجل تظل حتى عدة سنوات، انظر شكل (2ـ8)، وبالتالى تتحسن مقاومة عجينة الأسمنت مع الزمن ما دامت العجينة محفوظة من آية مهاجمات خارجية.



شكل (2ـ7) حجم الجل



شكل (2ـ8) العلاقة بين مقاومة الضغط و العمر لأنواع مختلفة من الأسمنت

2ـ7 الخواص الفيزيائية للأسمنت (Physical Properties of Cement):

2ـ7ـ1 نعومة الأسمنت (Fineness of Cement):

بعد الحصول على كلنكر الأسمنت من الفرن الدوار يتم طحن الأسمنت مع الجبس لتنعيمه. ومن المهم معرفة أن نعومة الأسمنت لها دور كبير فى التأثير على خواص عجينة الأسمنت ، فكلما زادت النعومة يقل قطر حبيبة الأسمنت وتزيد المساحة السطحية للأسمنت. وفى مـــايلى نوضح تأثير نعومة الأسمنت على خواصه:

1) زيادة النعومة تزيد من معدل الإماهه وتزيد الحاجة للجبس للتحكم فى شك الأسمنت، فتزيد كمية الجل المتكون فتتحسن المقاومة المبكرة.
2) زيادة النعومة تزيد من درجة الحرارة المنبعثة ، فيجـــب الاهتمـــام بمعالجـــة مونـــة الأسمنت والخرسانة.
3) يسهل إماهة الحبيبة الناعمة عن الحبيبات الخشنة.
4) الأسمنت الناعم يحتاج لماء خلط أكبر لذلك يزيد الانكماش.
5) زيادة النعومة تحسن من الثبات الحجمى للأسمنت (يقل التمدد الناتج عـــن الأكاســـيد الثانوية).

وللتعبير عن النعومة يتم قياس نسبة المواد الخشنة فى الأسمنت، إما بالنخل على منخل رقم 170 (مواصفات مصرية 373-1991) ، أو بالنخل على منخل رقم 200 . وفى المواصفات المصرية يجب ألا تزيد النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 عن 5 ، 10% لكـــل مـــن الأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت سريع التصلد على الترتيب. أما بالنسبة للـــ ASTM فإنه يجب ألا تزيد نسبة المحجوز على منخل 200 عن 20% للأسمنت. وتوجد طريقة أخرى للتعبير عن النعومة عن طريق قياس المساحة السطحية بالسم^2 للجرام ، وذلك باستخدام طريقة واجنر (Wagner Turbid Meter) (ASTM C115)، والتى تقيس المساحة بقياس كثافـــة ضوء يمر على محلول من الأسمنت والكيروســـين مـــن خـــلال خليـــة ضـــوئية كهربائيـــة (Photoelectric Cell). وتوجد طريقـــة Blain Air Permeability Apparatus فـــى المواصفات البريطانية BS 4550، وذلك لقياس المساحة السطحية للأسمنت (S_c) عن طريق إمرار تيار من الهواء القياسى (تحت ضغط قياسى) خلال عينة قياسية من الأسمنت ، وتحديد الزمن اللازم لنفاذ هذا الهواء خلال عينة الأسمنت ، وكلما زاد هذا الزمن (t_c) دل ذلك علـــى زيادة نعومة الأسمنت.

$$S_c = \alpha \sqrt{t_c} \qquad \text{.......... (15ـ2)}$$

2ـ7ـ2 قوام العجينة القياسية:

Consistency of Standard Paste (ASTM C187):

إن محتوى الماء يؤثر تأثيراً مباشراً على زمن شك الخرســـانة وعلـــى ظـــاهرة الثبـــات الحجمى. لذلك يجب أن يستخدم المهندس قوام ثابت لعجينة الأسمنت (أسمنت ومـــاء) وهـــذا القوام يتحقق بنسبة ماء الى الأسمنت قياسيه ويطلق على محتوى الماء ذلك بالماء القياســـى . ويعرّف الماء القياسى بأنه النسبة المئوية الوزنية للماء منسوباً لوزن الأسمنت، والذى يـــسمح لاسطوانة فيكات قطر 10 مم والتى وزنها 300 جم بـــاختراق ســـطح العجينـــة الأســـمنتية الموضوعة فى مخروط ناقص ارتفاعه 40 مم مسافة قدرها 35 ± 1 مم من قمـــة المخـــروط (تخترق الاسطوانة قالب العجينة لمسافة 5 ± 1 مم من قاع القالب)، يُرجع لملحق التجارب فى نهاية الباب. وتتراوح نسبة المياه القياسية طبقاً لنوع الأسمنت بين 25 ، 31 %.

2ـ7ـ3 شك الأسمنت (Setting of Cement):

2ـ7ـ3ـ1 عام:

عند إضافة الماء للأسمنت تكون العجينة الأسمنتية لدنة قابلة للتشكل مثل الغـراء، ومـع مرور الوقت تبدأ العجينة فى فقد لدونتها. وعندما تفقد العجينة لـدونتها وتبـدأ فـى الـشك (Setting) يقال أن الأسمنت قد شك ابتدائيا. ومع مرور الزمن تبدأ العجينة فـى التـصلب، وعندما تستطيع العجينة تحمل إجهادات ضغط خارجية صغيرة يقال أنها قد شكت شكاً نهائياً.

ويجب تحديد زمن الشك الابتدائى الذى يجب أن لايقل عن 45 دقيقة حتى يسهل تـشغيل المونة الأسمنتية وصب الخرسانة. ويتراوح هذا الزمن بين 2.00، 3.50 ساعة.

ويجب ألا يزيد زمن الشك النهائى عن 10 ساعات حتى يمكن فك الشدات والقوالب مبكراً (ويتراوح هذا الزمن فى الواقع بين 5- 8 ساعات). ويحدد زمن الشك عملياً بواسطة جهـاز فيكات كما هو وارد فى الملحق العملى فى نهاية الباب .

وطبقاً لاختبار فيكات يعرف زمنى الشك كمايلى :

- زمن الشك الابتدائى: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسـى للأسـمنت وحتـى اختراق إبرة فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 35 مـم مـن قمـة المخروط الناقص (5 مم من القاع).
- زمن الشك النهائى: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسى للأسمنت وحتى اختراق إبرة فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 0.5 مم من قمـة المخـروط (أى حتى اختفاء أثر الجزء الدائرى).

2ـ7ـ3ـ2 العوامل المؤثرة على الشك:

توجد عدة عوامل تؤثر على شك الأسمنت منها:

1) كلما زادت درجة الحرارة المحيطة يقل زمن الشك.
2) كلما زاد محتوى الماء المضاف للأسمنت يزيد زمن الشك.
3) درجة الحرق (التكلس) للأسمنت: حيث يقل زمن الشك مع زيادة درجة الحرق.
4) ومن المهم أن يكون هناك تناسب بين نسبة C_3A، ونسبة ثالث أكسيد الكبريت المعبر عن الجبس وذلك للتحكم فى زمن الشك، كما هو مبين بجدول رقم (2ـ3).

جدول (2ـ3) نسبة ثالث أكسيد الكبريت

نوع الأسمنت (Type)	عادى I	معدل II	سريع III	منخفض الحرارة	مقاوم للكبريتات
$C_3A \leq 8\ \%$	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
$C_3A > 8\ \%$	3.5	——	4.5	——	——

2ـ7ـ4 عدم الثبات الحجمى (Unsoundness):

إن الأسمنت بعد تصلبه يكون مبانى خرسانية أو حوائط من الطوب. ونظراً لوجود الجير الحى والماغنسيوم فى الأسمنت فإنه يحدث تفاعل لتلك الأكاسيد مع ماء الخلط بعـد تـصلب الخرسانة أو المونة، وتحدث تفاعلات تؤدى إلى زيادة حجمية للخرسانة أوللمونـة. وعنـدما تكون تلك الزيادة كبيرة تتولد شروخ ، وقد تظهر هذه الشروخ بعد مرورعدة أشهر ، وتـسمى هذه الزيادة بعدم الثبات الحجمى للأسمنت. ولوحظ أن الأسمنت الناعم يساعد علـى سـرعة تفاعل الجير الحر والماغنسيوم الحرعند خلط الخرسانة ، وبالتالى يحسن من الثبات الحجمـى

فى المراحل اللاحقة. ويزيد عدم الثبات الحجمى كلما زادت نسبة الجير والماغنسيوم ونـــاتج تفاعل C_3A مع الجبس .

ولكى يتأكد المهندس من عدم حدوث زيادة حجمية كبيرة نتيجة استخدام الأســمنت يلجــأ لاختبار الثبات الحجمى للأسمنت . وتستخدم دولياً إحدى طريقتين همـــا طريقـــة لوشـــاتلييه وطريقة الأوتوكلاف. وتعتمد الطريقة الأولى (لوشاتلييه) على صب اسطوانة بعجينة قيـاســية للأسمنت، وبعد مرور 24 ساعة يتم تعريضها للغليان حتى يتم دفع الجير الحى للتفاعل، ويتم قياس الزيادة فى قطر الاسطوانة. أما طريقة (الأوتوكلاف) فيتم صب منشور مـــن العجينـــة القياسية للأسمنت، وبعد مرور 24 ساعة يتم وضعها فى الأوتوكلاف وتعريضها لضغط بخار مقداره 2 ميجا باسكال ثم تبرد ويقاس الزيادة فى طول المنشور للحكم على الزيادة الحجميـــة (انظر ملحق العملى). ويجب استخدام الأوتوكلاف إذا زادت نسبة أكسيد الماغنسيوم عن 4%، والذى يجب ألا يزيد عن 5% فى بعض أنواع الأسمنت ، واستخدام ضغط بخار ضـــرورى لدفع أكسيد الماغنسيوم للتفاعل.

2ـــ8 مقاومة الضغط لمونة الأسمنت:

Compressive Strength of Cement Mortar:

تمثل مقاومة الضغط العامل الأساسى لخواص الأسمنت ، لأن الخرسانة والمونة الأسمنتية تستخدم أساساً لتحمل إجهادات الضغط. وتتوقف مقاومة الأسمنت للضغط على عدة عوامـــل منها:

1) هل سيجرى الاختبار لعجينة الأسمنت أم لمونة الأسمنت أم للخرسانة.
2) زيادة نعومة الأسمنت تحسن من المقاومة المبكرة.
3) كلما زادت درجة حرق الكلنكر تتحسن مقاومة الضغط.
4) كلما زاد عمر الأسمنت المُماه تتحسن المقاومة.
5) زيادة نسبة الماء للأسمنت تقلل من مقاومة الضغط.
6) كلما زادت فترة تخزين الأسمنت تقل مقاومة الضغط.
7) زيادة نسبة الرمل للأسمنت تقلل المقاومة .

وتستخدم كل المواصفات العالمية مونة الأسمنت لتحديد مقاومة الضغط. تستخدم مواصـــفة ASTM C109 مكعبات مقاسها 50 مم ونسبة رمل أوتاوا إلى الأسمنت 1: 2.75 بـــالوزن ونسبة ماء إلى أسمنت قدرها 0.485.

المواصفة ASTM C3499 تحدد مقاومة المونة باختبار منشور 40×40×160 مم فـــى الانحناء وتؤخذ العينتين المنفصلتين فى الانحناء، ويتم اختبارهما فى الضغط باستخدام لوحين ارتكاز مقاسهما 40.32×50.8 مم، وتحسب مقاومة الضغط للأسمنت (fc_c) كما يلى:

$$fc_c = 0.62P \quad (Kg/cm^2)$$

حيث P حمل كسر للعينة المنشورية بالنيوتن

وتستخدم BS 4550 والمواصفات المصرية 373-1991 مكعبات ذات مقاس 70.7 مـــم ومونة أسمنتية تتكون من W/C = 0.40 ونسبة رمل قياسى إلى أسمنت قدرها 3: 1 بالوزن، وتستخدم مواصفة BS 4550 أيضا مكعب مقاسة 100 مم لخرسانة لها نسبة مـــاء لأســـمنت 0.60 ونسبة ركام كبير لركام صغير قياسية، وهذا للحصول على مؤشر لمقاومة الخرسانة فى الضغط (انظر الملحق العملى).

2ـ9 أنواع الأسمنت (Types of Cement):

ينتج الأسمنت خلال العالم طبقا لمواصفات وتقسيمات مختلفة. ولكن يمكن إجمال الأنــواع العامة للأسمنت فى:

- أسمنت بورتلاندى عادى يستخدم فى أكثر من 90% من المواقــع وأســمنت سريع التصلد وأسمنت مقاوم للكبريتات وأسمنت مــنخفض الحــرارة وأســمنت بوزولانى وأسمنت مخلوط وأسمنت خبث.

2ـ9ـ1 تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM لأنواع الأسمنت:

جدول (2ـ4) يحتوى على الخمسة أنواع الرئيسية فى تقسيم الـ ASTM والاسم الشائع لها فى مصر.

ويلاحظ أن الأسمنت رقم I يمثل الأسمنت العادى والذى يستخدم فــى المنــشآت التــى لا يتطلب إنشائها متطلبات خاصة أو لا تتعرض لمهاجمات كيميائية.

والأسمنت رقم II به نسبة C_3A متوسطة بالإضافة إلى أن هذا الأسمنت حرارته منخفضة نسبياً لذلك يستخدم فى حالة وجود نسبة كبريتات متوسطة (Moderate) ويمكن استخدامه فى حالة عدم توفر أسمنت الخبث عند تعرض الخرســانة المــسلحة لمهاجمــة مزدوجــة مــن الكلوريدات والكبريتات .

جدول (2ـ4) الأنواع الخمسة الرئيسية للأسمنت فى ASTM

رقم الأسمنت		I	II	III	IV	V
الاسم الشائع فى مصر		عادى	معدل	سريع التصلد	منخفض الحراره	مقاوم للكبريتات
الاستخدام		فى الظروف الطبيعيه	مهاجمة كبريتات متوسطة	الإنشاء السريع	المنشآت الكتليه	مهاجمة الكبريات
التركيب الكيميائى *	C_3S	50	45	60	25	40
	C_2S	25	30	15	50	40
	C_3A	12	7	10	5	4
	C_4AF	8	12	8	12	10
	CSH_2	5	5	5	4	4
النعومة (بلين م^2/كجم)		350	350	450	300	350
مقاومة الضغط عند عمر يوم (ن/مم^2)		7	6	14	3	6
حرارة إماهه عند 7 أيام (جول/ مم)		330	250	500	210	250

* قيم استرشادية متوسطة

والأسمنت رقم III نسبة C_3S فيه عالية ، ونعومته عالية لذلك تكون مقاومته المبكرة عالية وحرارة إماهته عالية، لذلك يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً أو للإنشاء السريع ولصب خرسانة سابقة الصب فى المصانع. ويجب الاهتمام بالمعالجة المبكرة والسيطرة على حــرارة الخرسانة. ويجب ألا يستخدم هذا الأسمنت فى الخرسانة الكتلية أو ذات السمك الكبير (ســمك متوسط 0.50 متر) أو فى المنشآت التى يحدث فيها تغيير كبير فــى القطاعــات الخرســانية المختلفة.

والأسمنت رقم V هو أسمنت مقاوم للكبريتات يتميز بانخفاض نسبة C_3A حيث تقل نسبة المونوسلفوألومينات. فإذا ما هاجمت الكبريتات الخارجية الخرسانة يقل تأثير المهاجمة وتقل التمددات الحجمية والشروخ. وتنص مواصفة ASTM C150 على ألا تزيد قيمة C_3A عن 5% (تنص المواصفات المصرية 583-1993 على ألا تزيد نسبة C_3A عن 3.5%)، ويجب ألا تزيد نسبة ($_2C_3A+C_4AF$) عن 20% من وزن الأسمنت ولا يزيد محتوى الماغنسيوم عن 6%. بينما تطلب مواصفة BS 4027:1980 على ألا يزيد C_3A عن 3.5% من وزن الأسمنت. ومن المهم لفت النظر إلى أن نقص C_3A قد يؤدى لخفض المقاومة المبكرة، لذلك يجب الاهتمام بالخرسانة عند استخدام إضافات مؤجلة للشك، بحيث تستخدم الجرعة المناسبة وإلا فإن الخرسانة لن تشك. ويصنع هذا الأسمنت بإضافة مادة خام تزيد من عنصر الحديد (مثل بيريت الحديد) لكى نزيد من نسبة C_4AF وتقل نسبة C_3A.

الأسمنت رقم IV هو أسمنت منخفض الحرارة، ويتميز بزيادة نسبة السليكا وانخفاض نسبة الكالسيوم، ولذلك تكون نسبة C_3S قليلة وكذلك نسبة C_3A ولذلك تنخفض حرارة الإماهه، ولذلك يستخدم هذا الأسمنت فى المنشآت الكتلية وخاصة منشآت الرى حتى لا ترتفع درجة الحرارة داخل الخرسانة وتؤدى إلى تشريخها. ويجب على المهندس الوضع فى الاعتبار أن مقاومة الضغط عند 28 يوم ستكون منخفضة ثم تتحسن المقاومة مع الأعمار اللاحقة. ويلاحظ أن هذا الأسمنت تحمله لمهاجمة الكبريتات جيدة.

2-9-2 أسمنت الخبث (Slag Cement):

لوحظ أن خبث الحديد الناتج من صناعة الصلب يحتوى تقريباً على نفس الأكاسيد الموجودة فى الأسمنت. ووجد أنه يحتوى على 42% جير، 30% سيلكا، 19% ألومينا، 5% ماغنسيوم، 1% أكاسيد قلوية فى المتوسط.

ويؤخذ هذا الخبث ويتم تقسيته (Quenching) بواسطة تبريده بالماء بسرعة ليتحول بناؤه الى البناء الزجاجى (Glassy) بحيث يكون نشط ونمنع حدوث بلورات كبيرة. ويوجد عدة أنواع من الأسمنت الخبثى هى :

1) الأسمنت البورتلاندى الخبثى (Portland Blast Furnace Cement):

حيث يتحول الأسمنت الخبثى إلى مادة أسمنتية ويتم تنشيط الخبث بوجود كمية من هيدروكسيد الكالسيوم بإضافة نسبة من الأسمنت البورتلاندى العادى ثم يتم الطحن. وقد تتغير نسبة الخبث من دولة إلى دولة. ومن أمثلة ذلك أنه تتراوح نسبة الخبث بين 25، 60% فى الأسمنت Type IS Cement المنصوص عليه فى ASTM C595 والمواصفات البريطانية BS 4246 تسمح بنسبة تتراوح بين 50، 90.

2) الأسمنت الخبثى الجيرى (Lime-Slag Cement):

وفى هذا الأسمنت يكون الجير هو منشط الخبث واستخدامه قليل على مستوى العالم.

3) الأسمنت عالى التحمل للكبريتات (Super-Sulfated Cement):

وفى هذا الأسمنت يتم تنشيط الخبث عن طريق إضافة كبريتات الكالسيوم الغير مماهه ($CaSo_4$) مع قليل من الجير أوالأسمنت البورتلاندى. وهذا الأسمنت مصنف فى المواصفة (BS 4248) واستخدامات هذا الأسمنت قليلة، ولكن الحرارة المنبعثة منه قليلة مقارنة بالأسمنت البورتلاندى الخبثى ، كما أن تحمله للكبريتات أفضل حيث تقل نسبة CH، وأغلب الألومينا يتحد ويكون فى صورة إترنجيت مما يكسبه مقاومة مبكرة.

2ـ9ـ3 أنواع أخرى من الأسمنت:

وتوجد أنواع أخرى فى السوق العالمية، ومنها الأسمنت البورتلاندى البوزولانى (أسمنت بورتلاندى مضاف إليه مادة بوزولانية مثل غبار السليكا)، والأسمنت القابل للتمدد (Expansive Cement) (أسمنت مضاف إليه إضافات كيميائية تحدث تمدد يلاشى انكماش الخرسانة أو يقلل منه).

ويمثل الأسمنت الأبيض أحد الأسمنتيات التى تستخدم فى الأعمال المعمارية وأعمال الديكور ولونه أبيض، وينتج باستخدام حجر جيرى نقى وطين أبيض مثل الكاولين، ويجب إقلال نسبة أكسيد الحديد (المسئول عن اللون الرمادى) إلى أقل من 0.5%.

ويوجد فى بعض الدول الأسمنت المخلوط، حيث يضاف للأسمنت مادة مالئة مثل كربونات الكالسيوم أوالرمال وذلك بعد تنعيمها لدرجة كبيرة. وهذا الأسمنت لايستخدم فى الخرسانة المسلحة.

2ـ9 ـ 4 أنواع الأسمنت طبقاً للمواصفة القياسية المصرية م.ق.م 2006/4756:

هذه المواصفة مأخوذة من المواصفة البريطانية الأوربية رقم 197 (BSEN 197-1-2004)، ولذلك تشمل أسمنتات غير موجودة فى السوق المحلى ، ولا تشتمل تلك المواصفة إلا على الأسمنت المكون أساساً من كلنكر الأسمنت سواء أكان مكون رئيسى أو جزئى ، ولا تشتمل هذه المواصفة على الأسمنت المقاوم للكبريتات و الأسمنت منخفض الحرارة.

تستخدم المواصفة كلمة CEM للدلالة على الأسمنت ، ويقسم الأسمنت طبقاً لتلك المواصفة إلى خمسة أنواع رئيسية هى:

1. الأسمنت البورتلاندى (CEM I) بنوعيه؛ العادى ويأخذ الرمز N والأسمنت البورتلاندى سريع الشك ويأخذ الرمز R وبذلك يكون لدينا CEMI N & CEM I R
2. الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II) ، وهو ينتج من استخدام الكلنكر مع مادة أخرى.
3. أسمنت خبث الأفران العالية (CEM III) ، وهو ينتج من استخدام كلنكر الأسمنت وخبث الحديد.
4. الأسمنت البوزولانى (CEM IV) ، وهو يتكون من الكلنكر ومادة البوزولانا.
5. الأسمنت المركب (CEM V) ، ويتكون من خلط الكلنكر مع مادتين وجدول (2ـ5) يحتوى على مركبات الأسمنتات أنواع III ، IV ، V .

ويعرف الأسمنت بجانب رموز تركيبة برتبة مقاومة ضغط مونة الأسمنت عند عمر 28 يوم. وتوجد ثلاثة رتب لمقاومة الضغط هى 32.5 ، 42.5 ، 52.5 ن/مم^2. فمثلاً عندما يكون مكتوب على كيس الأسمنت (CEM I (R42.5 فهذا يعنى أن الأسمنت هو أسمنت بورتلاندى سريع الشك ومقاومة ضغط مونته بعد 28 يوم = 42.5 ن/مم^2. ونتناول فى مايلى استعراضاً للأنواع المختلفة.

- الأسمنت البورتلاندى (CEM I): يشمل الأسمنت البورتلاندى العادى أوسريع التصلد كما سبق ذكره، ويتكون من كلنكر بنسبة بين 90- 100% ومواد مضافة بنسبة تتراوح بين صفر، 5 %. وهذا الأسمنت ينتج فى مصر.
- الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II) : وهولا ينتج فى مصر، ويضاف للكلنكر مادة بوزولانية أو غبار السيليكا أو رماد متطاير أو طفل محروق أو حجر جيرى. جدول (2ـ6) يحتوى على الأفرع المختلفة للأسمنت CEM

II. ويلاحظ أن للأسمنت المضاف اليه ماده بوزولانيه أو الرماد المتطاير تغيير نسبة تلك الإضافات لتحقق مواصفات أغلب الدول الأوروبية.

•

جدول (2ـ5) مكونات أنواع الأسمنت III ، IV، V

نوع الأسمنت		كلنكر	خبث الأفران العالية	غبار السليكا	البوزولانى		الرماد الطائر		مكونات إضافيه
					طبيعيه	مكلسنه	طبيعيه	مكلسنه	
CEM III أسمنت خبث الأفران العالية	CEM III/A	64-35	65-36						صفر-5
	CEM III/ B	34-20	80-66						صفر-5
	CEM III/C	19-5	95-81						صفر-5
CEM IV أسمنت بوزولانى	CEM IV/A	89-65	——			35-11			صفر-5
	CEM IV/ B	64-45	——			55-36			صفر-5
CEM V الأسمنت المركب	CEM V/A	64-40	30-18			30-18			صفر-5
	CEM V/ B	38-20	50-31			50-31			صفر-5

• ويلاحظ أن أسمنت CEM III يستخدم فى مصر عن طريق استيراد الخبث ولكن للمشروعات الكبيرة.
• بينما الأسمنت CEM IV عبارة عن كلنكر يضاف اليه غبار سليكا أو بوزولانى أو رماد طائر.
• الأسمنت CEM V يتكون من خليط الكنلكر وخبث الأفران ومادة بوزولانية إما غبار سليكا أو بوزولانى أو رماد طائر غير مكلسن. ومن المهم التأكيد على أن الأسمنت II الذى يستخدم فيه الحجر الجيرى والطفل يجب عدم استخدامه فى الأعمال الخرسانية المسلحة إلى أن تثبت الأبحاث والمواصفات القياسية وكود الخرسانة صلاحيتهم لهذا الاستخدام.

2 ـ 9 ـ 5 أمثله على إختيار نوع الأسمنت :

ـ بالنسبة للخرسانه يرجع لباب رقم (5) الخلطات الخرسانية والباب السادس (تحملية الخرسانه) قبل الإطلاع على تلك الأمثله .

مثال (1) :

ـ منشأ خرسانى يتكون من 40 طابق يرتكز على خوازيق موضوعه فى ماء جوفى محتوى الكلوريدات به 40000 جزء من المليون ومحتوى الكبريتات 3500 جزء من المليون معبراً عنها بـ SO3 إذكر أنواع الأسمنت ورتبها طبقاً للمواصفه المصرية الحديثة .

الحل :

المنشأ عالى وبالتالى ستكون مقاومة الضغط عالية :

ـ خرسانة الأساسات سوف تتعرض لمهاجمة مزدوجة من الكبريتات والكلوريدات ولذلك نستخدم أسمنت عالى الخبث برتبة لاتقل عن CEM III A/C 42.5 .

ـ خرسانة المنشأ يستخدم CEM I N42.5 .

جدول (2ـ6) المكونات والأنواع الفرعية للأسمنت CEM II ونسبها .

نوع الأسمنت		كلنكر	خبث الأفران	غبار السليكا	البوزولانى		الرماد الطائر		الطفل المحروق	مكونات إضافيه
					طبيعيه	مكلسنه	طبيعيه	مكلسنه		
الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران	CEM II/A-S	-80 94	20-6							5 -0
	CEM II B-S	-65 79	-21 35							5 -0
أسمنت بورتلاندى بوزولانى	CEM II/A-P	-80 94			20-6					5 -0
	CEM II/B-P	-65 79			-21 35					5 -0
	CEM II/A-Q	-80 94				20-6				5 -0
	CEM II/B-Q	-65 79				-21 35				5 -0
أسمنت البورتلاندى الرماد المتطاير	CEM II/A-V	-80 94					20-6			5 -0
	CEM II/B-V	-65 79					-21 35			5 -0
	CEM II/A-W	-80 94						20-6		5 -0
	CEM II/B-W	-65 79						-21 35		5 -0
أسمنت البورتلاندى الطفل المحروق	CEM II/A-T	-80 94							20-6	5 -0
	CEM II/B-T	-65 79							35-21	5 -0
غبار السليكا	CEM II/A-D	-90 94	——	10-6						5 -0
أسمنت بورتلاندى مركب	CEM II/A-M	-80 94								5 -0
	CEM II/B-M	-65 79								5 -0

مثال (2) :

ــ حوائط طوب لاتتعرض لأية مهاجمات .

ــ نوع الأسمنت أى نوع ماعدا الأسمنت السريع (R) .

مثال (3) :

ــ قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة كبريتات تركيزها 2500 جزء فى المليون وكلوريدات تركيزها 900 جزء فى المليون .

ــ نوع الأسمنت مقاوم للكبريتات .

مثال (4) :

ــ قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة ماء بها نسبة كلوريدات 30000 جزء فى المليون والكبريتات 200 جزء فى المليون .

ـ نوع الأسمنت CEM I N Or CEM I R أو CEM III A/C .

مثال (5) :

ـ أساسات قناطر على النيل .

ـ نوع الأسمنت منخفض الحراره TYPE IV طبقا للـ ASTM .

مثال (6) :

ـ مصنع خرسانه جاهزة يقوم بصب أعضاء منشآت خرسانية .

ـ نوع الأسمنت CEM I R 42.5 .

مثال (7) :

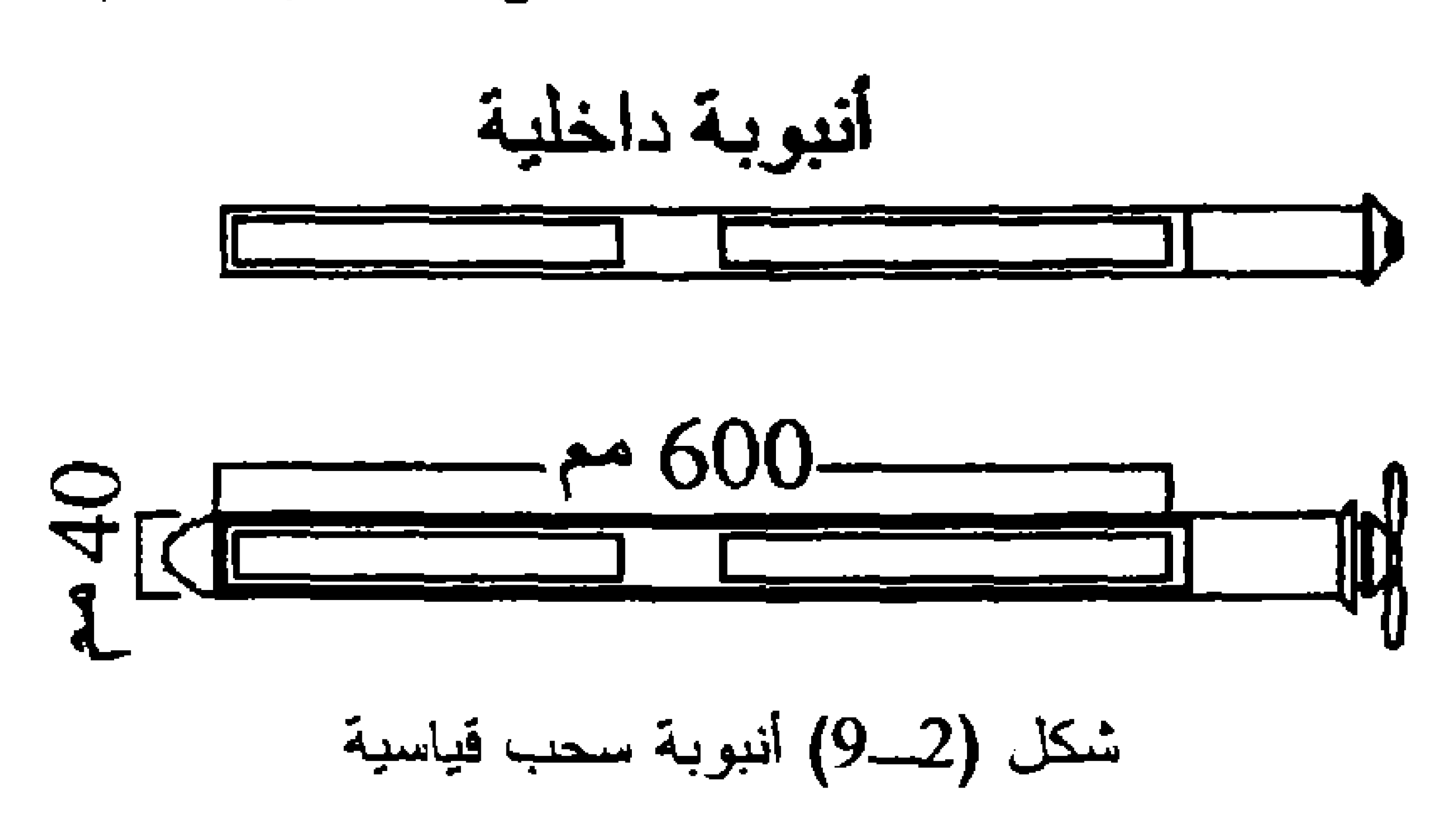
ـ خرسانة تهاجم بماء به نسبة الكبريتات (SO3) = 500 جزء فى المليون .

ـ نوع الأسمنت TYPE II طبقا للـ ASTM .

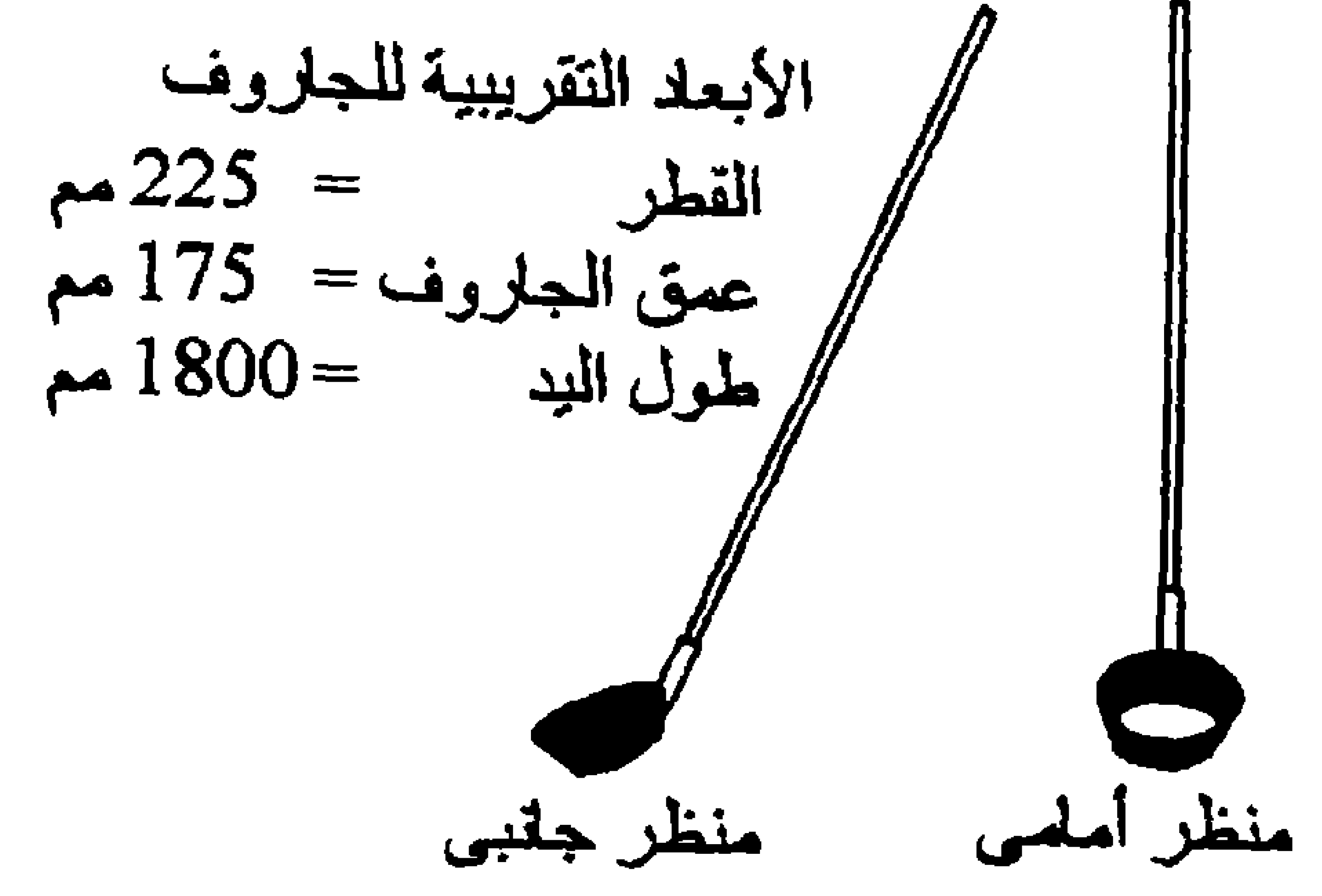
2ـ10 اختبارات الأسمنت:

2ـ10ـ1 أخذ عينات الأسمنت (Sampling of Cement):

- يهدف هذا الاختبار لتحديد كيفية أخذ عينات من الأسمنت لإجراء اختبارات الصلاحية عليه ، وتسمى هذه الطريقة بالطريقة القياسية لأخذ العينات.
- تعرف رسالة الأسمنت بأنها كمية محددة من الأسمنت تم توريدها ومعروضة للاختبار عند وقت محدد ومنتجة فى وقت معين.
- العينة المقررة هى عينة يتم أخذها من رسالة أسمنتية واحدة.
- العينة المركبة هى عينة مأخوذة من عدة رسائل تم توريدها على فترات زمنية قريبة ثم تخلط ويؤخذ منها عينة مركبة .
- يتم أخذ العينات إما باستخدام أنبوبة سحب قياسية كما هو موضح بشكل (2ـ9) أو جاروف سحب عينات قياسى كما هو موضح بشكل (2ـ10).



شكل (2ـ9) أنبوبة سحب قياسية



شكل (2ـ10) جاروف سحب عينة الأسمنت

- إذا كانت الرسالة أقل من أو يساوى 20 طن من مصدر واحد تؤخذ عينة واحدة ، وإذا زادت الرسالة عن 20 طن فتؤخذ عينة لكل 20 طن.
- لايقل وزن العينة المسحوبة عن 5 كجم.
- يجب وضع العينات فى إناء مغلق تماماً عازل للرطوبة.
- يجرى الاختبار خلال شهر من إنتاج الأسمنت وخلال 28 يوم من أخذ العينات.
- فى حالة توريد الأسمنت فى أكياس يتم أخذ عدد من الأكياس عددها لا يقل عن الجذر التكعيبى للعدد الكلى من الأكياس.
- وتسحب عينة من كل كيس بالأنبوبة القياسية ثم يتم تجميعها معاً.
- فى حالة توريد الأسمنت سائب فى عربة أو سفينة أو صومعة فتؤخذ العينة من عدة أعماق أو أماكن وتجنب الطبقات العليا فى حالة السيارات. وينصح الكاتب بأخذ ثلاث عينات على الأقل بحيث تؤخذ عينة على الأقل من كل 20 طن.
- يكتب تقرير عن العينة به كل المعلومات عنها وعن طرق أخذ العينة.

2ـ10ـ2 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام منخل رقم 170:
Fineness of Cement by the Sieve No. 170:

- الغرض من الاختبار هو تعيين نعومة الأسمنت باستخدام المنخل رقم 170.
- يتم استخدام ميزان دقته لا تقل عن 10 مليجرام ويزن حتى 100 جم.
- يتم أخذ عينة من الأسمنت قياسية وتوضع فى زجاجة مغلقة وترج لمدة دقيقتين.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 50 جرام.
- يتم نخل الـ 50 جرام على منخل 170.
- يتم حساب وزن عينة الأسمنت المتبقية على المنخل ولتكن W_1.
- % للأسمنت المحجوز (R_1) على منخل 170 يحسب من المعادلة:

$$R_1 = \frac{W_1 \times 100}{50} \qquad \text{............ (2ـ16)}$$

تكرر التجربة على عينة أخرى ويحدد % للأسمنت المحجوز (R_2).

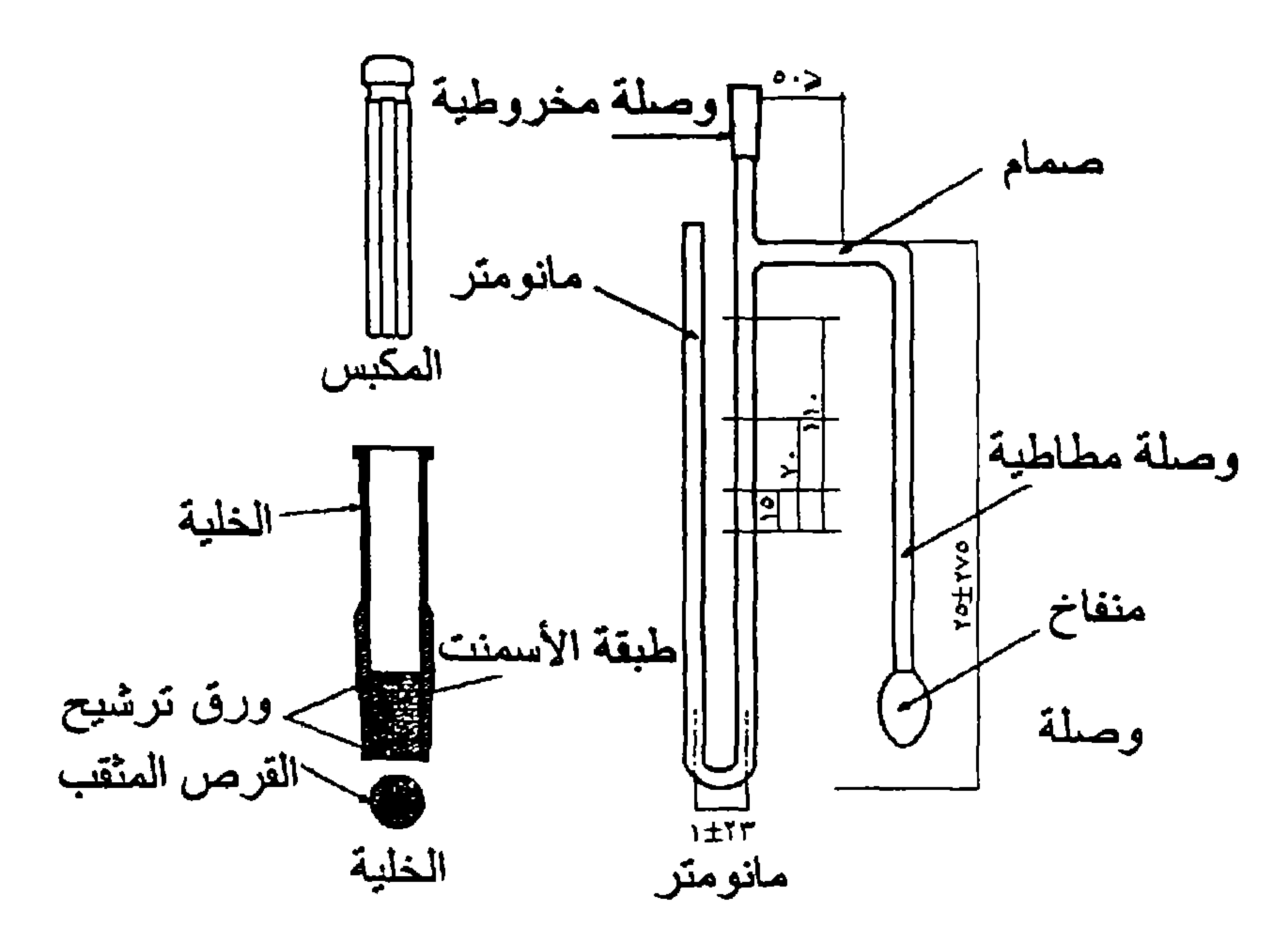
- النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 (R)= متوسط النسبة المئوية للمحجوز للعينتين المختبرتين.

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \qquad .... (17_2)$$

- فى حالة اختلاف R_2 عن R_1 بأكثر من 1% يجرى الاختبار على عينة ثالثة وتؤخذ متوسط الثلاث تجارب.

2ـ10ـ3 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام جهاز بلين:
Determination of fineness of cement using Blaine apparatus:

- يجرى هذا الاختبار لقياس المساحة السطحية لحبيبات الأسمنت لوحدة الوزن معبّراً عنها سم^2/جم. ويتم حسابها باستخدام جهاز بلين عن طريق حساب الزمن اللازم لنفاذ كمية محددة من الهواء خلال عينة قياسية من الأسمنت ، ثم تحسب المساحة كدالة من ذلك الزمن.
- يتكون جهاز بلين - كما هو مبين بشكل (2ـ11) - من:
  - خلية توضع فيها طبقة الأسمنت وفى أسفلها يوضع قرص مثقب. وطبقة الأسمنت تكون محصورة بين ورقتى ترشيح وتوضع الخلية فى الوصلة المخروطية.
  - مكبس يستخدم فى دمك عينة الأسمنت.
  - مانومتر يتصل بأحد أفرعه منفاخ لدفع الهواء فى المانومتر. والمانومتر يوضع به سائل غير متطاير وغير قابل للتميع مثل ثنائى بيوتيل فيثالين أو زيت معدنى خفيف ويجب توفر موازين وساعات إيقاف وقنينة كثافة.



شكل (2ـ11) جهاز بلين

- تؤخذ عينة أسمنت ممثلة للأسمنت.
- توضع عينة أسمنت وزنها قياسي بالخلية فوق القرص المثقب، ويوضع أسفلها وأعلاها ورقة تنشيف.
- يحرك المكبس حتى تلامس ضاغته ورق الترشيح العلوية، ويتم دمك الأسمنت بطريقة قياسية (يضغط ضاغط المكبس على الأسمنت حتى نهايته ثم يرفع المكبس حوالى 5 مم ويدار 90 درجة ثم يضغط مرة أخرى ويسحب برفق) ثم توضع الخلية في الوصلة المخروطية.
- عن طريق المنفاخ يتم ضخ كمية قياسية من الهواء لكى يحدث فرق قياسى ضاغط بين طرفى المانومتر (بين علامتين) ويتم غلق الصمام حتى ندفع الهواء بالمرور فى الأسمنت.
- يسجل الزمن اللازم (t_c) لهبوط السائل بين العلامتين.وكلما زاد هذا الزمن دل ذلك على نعومة الأسمنت.
- تحسب المساحة السطحية للأسمنت S_c (سم^2/جم) من المعادلة:

$$S_c = K \times \sqrt{(P_c)^3 \times t_c} \qquad \text{............ (18—2)}$$

$$Dc = (1 - Pc) \times \sqrt{0.1 \times Ic} \qquad \text{............ (19—2)}$$

حيث

← K ثابت الجهاز، ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية والتى تعتمد على عينة الأسمنت المرجعية.

← Dc كثافة الأسمنت المختبر (جم/سم^3)، ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.

← Pc مسامية طبقة الأسمنت المختبر، وتحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.

← Ic لزوجة الهواء والمعطاه بجدول (2—7).

جدول (2—7) كثافة الزئبق ولزوجة الهواء عند درجات حرارة مختلفة طبقا لدرجة حرارة التجربة

لزوجة الهواء (Ic) بسكال ثانية	كثافة الزئبق جم /سم3	درجة الحرارة م°
0.00001800	13.560	16
0.00001805	13.560	17
0.00001810	13.550	18
0.00001815	13.550	19
0.00001819	13.550	20
0.00001824	13.540	21
0.00001829	13.540	22
0.00001834	13.540	23
0.00001839	13.540	24

2ـ10ـ3 محتوى الماء القياسى اللازم للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسى:

Standard Water Content Required for Cement Paste of Standard Consistency:

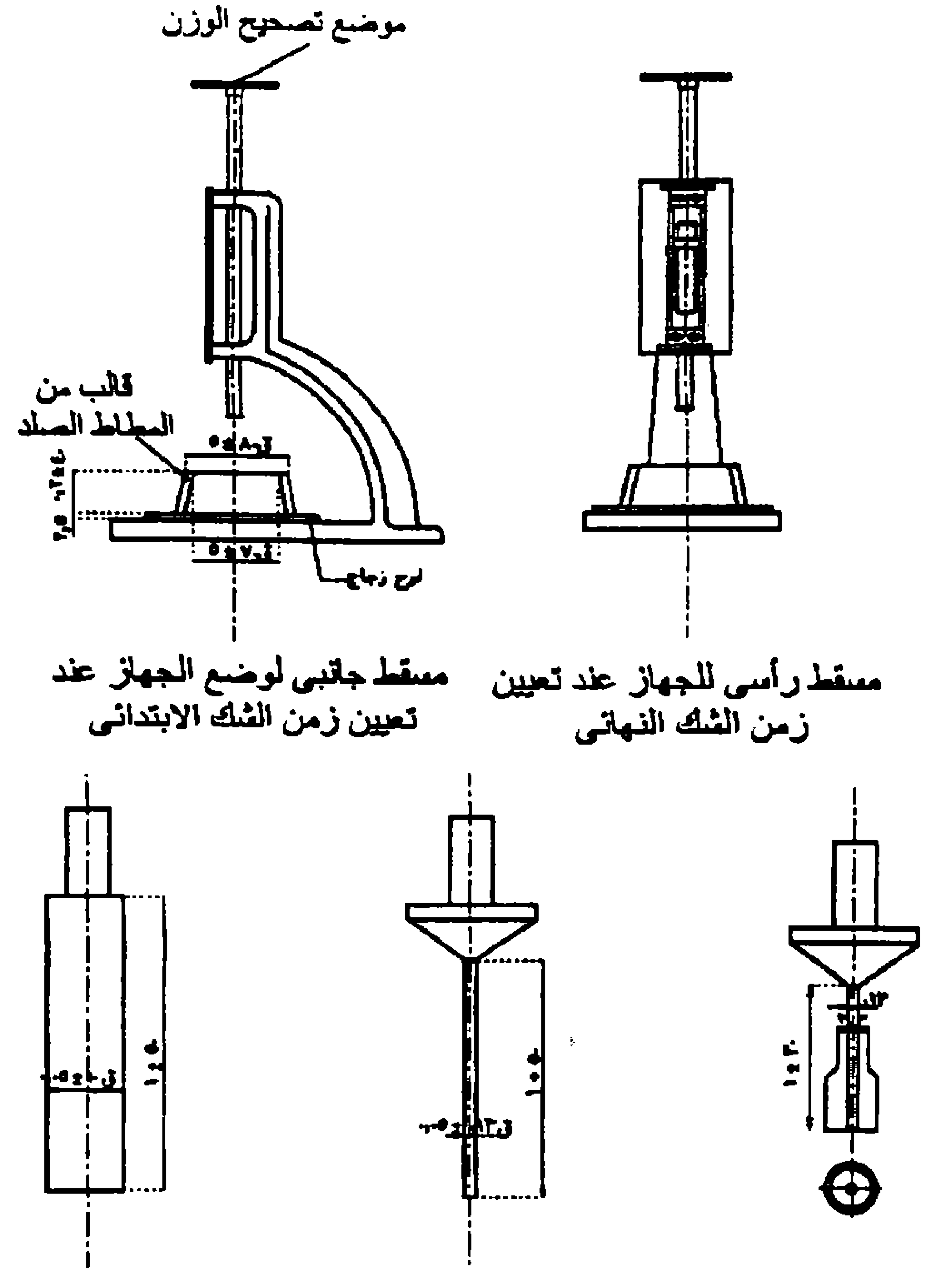
2ـ10ـ3ـ1 جهاز فيكات:

الجهاز مبين بشكل (2ـ12) وهو عبارة عن إطار معدنى ينزلق داخله حامل (وزنه 300 جم) مثبت به إحدى أطراف فيكات الثلاثة.

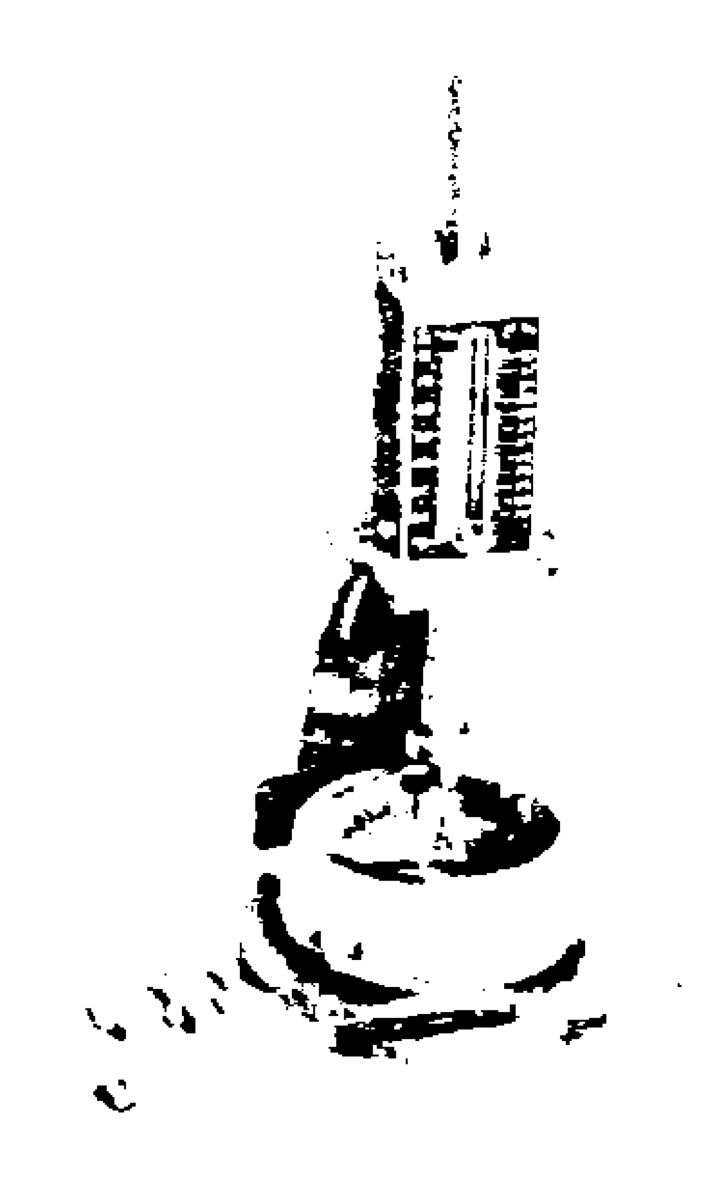
- الأول منها اسطوانة قطرها 10±0.5 مم تستخدم لتحديد الماء القياسى.
- والثانى عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تستخدم لتحديد زمن الشك الابتدائى.
- والثالث طرف عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تبرز مسافة قدرها 0.5 مم من جزء دائرى ودورانية مثبتة فى الإطار لقياس المسافة بين طرف فيكات وقاع المخروط.
- مخروط ناقص لوضع عجينة الأسمنت به قطره العلوى 70±5 مم وقطره السفلى 80±5 مم وهو مفتوح الطرفين يجلس على لوح غير منفذ وارتفاع هذا المخروط 40±2 مم.

2ـ10ـ3ـ2 خطوات الاختبار:

- يتم تركيب اسطوانة فيكات (10مم) ويتم دهان المخروط بالزيت.
- تؤخذ عينة بطريقة قياسية من الأسمنت.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 400 جرام .
- يتم إضافة ماء بمحتوى تقريبى حوالى 20% من وزن الأسمنت. ويتم خلط العجينة فى مدة قياسية 240±5 ثانية باستخدام مسطرين قياسى وزنه 210 جم.
- يتم ملأ القالب بالعجينة فى نهاية مدة الخلط وتسويته .
- يسمح للاسطوانة باختراق المخروط بطريقة قياسية. وبعد 30 ثانية تقاس المسافة بين الاسطوانة وقاع القالب.
- تعاد التجربة عدة مرات بمحتويات ماء مختلفة وحتى تسجل الإسطوانه مسافة اختراق 5±1 مم.
- ترسم علاقة بين محتوى الماء كنسبة من وزن الأسمنت ومسافة الاختراق. ثم نعين النسبة المئوية لمحتوى الماء القياسى الذى تحقق مسافة 1 ± 5 مم من القاع .



شكل (2ــ12ــ أ) جهاز فيكات



شكل (2ــ12ــ ب) جهاز فيكات

2ـ10ـ3ـ3 زمن الشك الابتدائى والنهائى للعجينة الأسمنتية باستخدام جهاز فيكات:
Initial and Final Setting Times of Cement Paste Using Vicat's Apparatus:

1. تحديد زمن الشك الابتدائى:

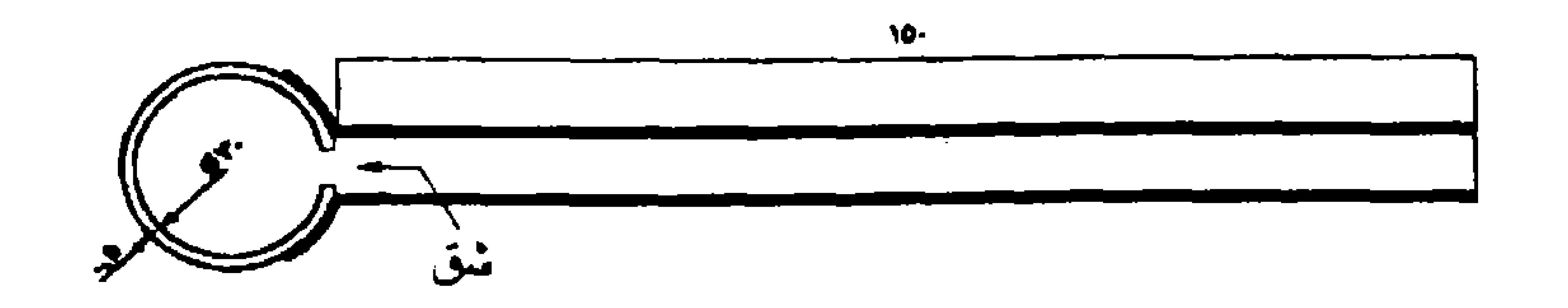
- يتم تركيب إبرة فيكات (1مم) فى حامل فيكات.
- يتم إضافة الماء القياسى المحدد فى التجربة السابقة لـ 400 جرام أسمنت ويتم تشغيل ساعة الإيقاف.
- يتم الخلط للفترة القياسية (240±5 مم) ويتم ملء القالب وتسويته.
- بعد مرور حوالى 15 دقيقة تترك الإبرة لتسقط وتخترق عجينة الأسمنت. وبعد 30 ثانية تقاس مسافة الاختراق على تدريج الجهاز .
- يتم رفع حامل الإبرة لأعلى وعلى فترات زمنية قدرها 10 دقائق يتم إنزال الإبرة لقياس مسافة الاختراق فى أماكن مختلفة (المسافة بينها حوالى 10 مم) ونرسم علاقة بين الزمن ومسافة الاختراق من القاع.
- من النتائج نحدد الزمن الذى يتحقق عنده اختراق قدره 5±1 مم من القاع فيكون هو زمن الشك الابتدائى من لحظة إضافة الماء وحتى تلك اللحظة.

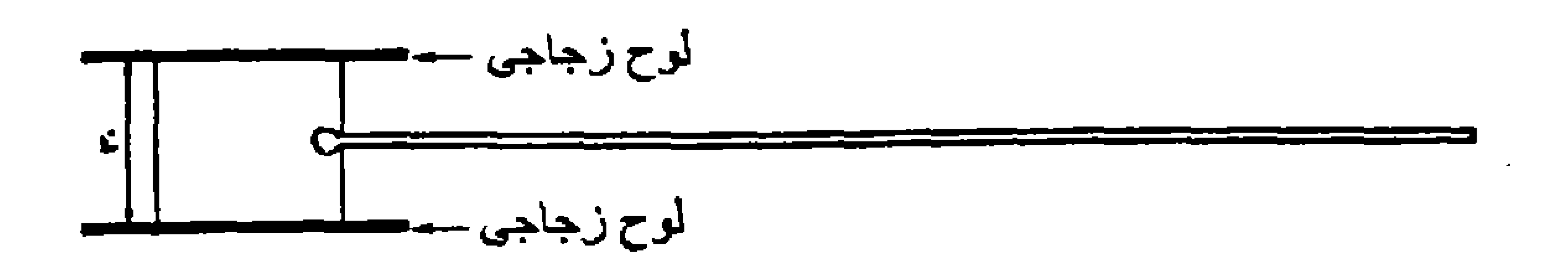
2. تحديد زمن الشك النهائى:

- بعد تحديد زمن الشك الابتدائى يتم تغيير الإبرة بالإبرة المثبتة فى طرف دائرى وتبرز عنه مسافة 0.50 مم.
- على فترات زمنية قدرها 30 دقيقة يتم إسقاط الحامل ومعه الجزء الدائرى، ونسجل الزمن من لحظة خلط الماء وحتى لحظة اختراق الإبرة (1مم) مسافة قدرها 0.5 مم من القمة. ويتم التعرف عليها عند اختفاء أثر الجزء الدائرى مع بقاء أثر الإبرة (1مم) (حيث يظهر أثرهما معا قبل هذا الزمن).
- لا يقل زمن الشك الابتدائى عن 45 دقيقة لجميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت منخفض الحرارة فلا يقل عن 60 دقيقة ولا يقل زمن الشك النهائى عن 10 ساعات.

2ـ10ـ4 تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتليه:
Le Chatelier Expansion of Cement:

- يهدف هذا الاختبار لقياس تمدد الأسمنت باستخدام جهاز لوشاتلييه. حيث يتم تحديد التمدد بعد تعريض عجينة الأسمنت للغليان لتسريع تفاعل العناصر الكيميائية مع الأسمنت. وتستخدم هذه الطريقة فى تحديد صلاحية جميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت ذو النعومة 4100 أوعندما تزيد نسبة الماغنسيوم عن 4% ، وفى تلك الحالة يتم استخدام طريقة الأوتوكلاف.
- يتم الاستعانة بقالب لوشاتلييه المبين فى شكل رقم (2ـ13). وهو عبارة عن قالب اسطوانى مجوف من سبيكة نحاسية فطره 30 مم به ثقب طولى ، ومثبت به دليلان طولهما 150 مم ، ومع كل قالب لوحان من الزجاج يستخدمان كقاعدة وغطاء للقالب وزن كل منهما 75 جم على الأقل ، ويمكن وضع ثقل على اللوح العلوى.





شكل (2ـ13) جهاز لوشاتلييه

- يتم الاستعانة بحمام مائى يمكن رفع درجة حرارته ميكانيكياً من 25°م إلى الغليان خلال 30 دقيقة± 5 دقيقة ثم تظل درجة الحرارة ثابتة لمدة ساعتين (وهذه الطريقة سنطلق عليها الغليان القياسى).
- يتم خلط وزن معين من الأسمنت مع محتوى الماء القياسى الذى يعطى العجينة القياسية. ويتم الخلط للمدة القياسية (240±5 ثانيه)، ونملأ القالب الذى سبق تزييته (يملأ قالبين من نفس العجينة) مع الحفاظ على الشق الطولى مغلق .
- تترك القوالب فى ظروف قياسية (درجة حرارة 25±2 درجة مئوية ورطوبة نسبية 98%) لمدة 24 ساعة ± 0.5 ساعة.
- يرفع القالب فى نهاية هذه الفترة ونقيس المسافة بين طرفى الدليل لأقرب 0.50 مم ولتكن $ف_1$.
- يوضع القالب فى الحمام المائى ويعرض للغليان القياسى المذكور سابقاً لمدة ساعتين ونصف.
- يترك القالب ليبرد حتى درجة 25±2 درجة مئوية.
- يتم قياس المسافة بين الدليلين ولتكن $ف_2$.
- التمدد = $ف_2 - ف_1$
- يؤخذ متوسط تمدد القالبين.
- لا يزيد التمدد عن 10 مم لجميع أنواع الأسمنت ، ولا يزيد عن 5 مم للأسمنت عالى المقاومة للكبريتات .
- بعض المواصفات تقيس المسافة $ف_2$ بعد وضع الجهاز فى حمام مائى بارد (25±1 درجة مئوية) لمدة سبعة أيام أى بدون غليان.

2ـ10ـ5 تقدير ثبات الحجم (التمدد) بطريقة الأوتوكلاف:

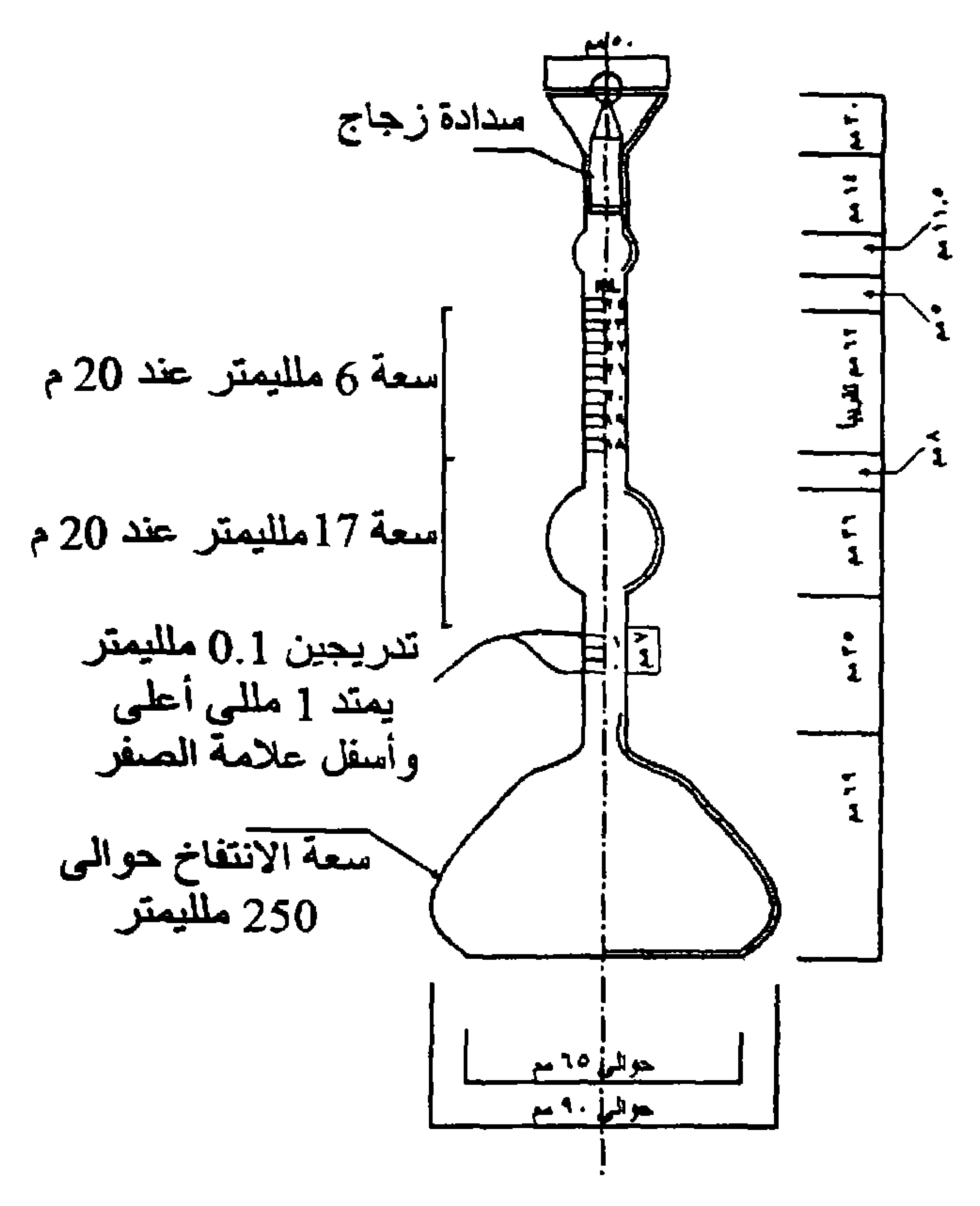
Determination of Soundness of Cement Using Autoclave:

- يهدف الاختبار لتحديد التمدد الناتج عن تعريض منشور من عجينة الأسمنت لظروف تفاعل سريع ناتج عن تعرضه لبخار ماء تحت ضغط 2 ميجا باسكال لمدة 3 ساعات. ويستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت ذى النعومة 4100 وصلاحية أى أسمنت تزيد نسبة أكسيد الماغنسيوم فيه عن 4%.

- يتم استخدام جهاز الأوتوكلاف ، وهو عبارة عن وعاء يتحمل الضغط العالى لبخار الماء ، وحجمه يسمح بوضع العينات به ، وبه مكان لوضع ترمومتر لقياس درجة الحرارة، وهذا الوعاء مصمم بحيث ترتفع درجة الحرارة لتحويل الماء إلى بخار، ويتم ضبط ضغط البخار آلياً. والجهاز مزود بجهاز لقياس الضغط ، وبه صمام أمان وصمام تهوية يسمح بإخراج الهواء عند بداية التجربة ، ويسمح بإخراج البخار عند نهاية التجربة.
- يستخدم قوالب معدنية قوية لصب منشورات من عجينة الأسمنت أبعادها القياسية 25×25×285 مم ، ومثبت بنهاتيها طرفين معدنيين غير قابليين للصدأ لقياس المسافة.
- يتم وزن 650 جم من الأسمنت وخلطها مع محتوى الماء القياسى لعجينة الأسمنت القياسية المحدد من جهاز فيكات لمدة قياسية.
- يتم ملأ القوالب وتركها 24 ساعة فى جو قياسى (رطوبة نسبية 95% ، درجة حرارة 23±1.5 درجة مئوية).
- يتم قياس الطول $ل_1$.
- ضع العينات فى الأوتوكلاف وبه ماء حجمه حوالى 7-10% من حجم العينات.
- سخن الأوتوكلاف مع ترك الهواء يخرج وأغلقه بعد خروج البخار، واستمر فى التسخين حتى يصل الضغط إلى 2 ميجا باسكال خلال 45-75 دقيقة.
- اترك العينات تحت هذا الضغط لمدة 3 ساعات.
- يبرد الأوتوكلاف لينزل الضغط إلى 0.07 ميجا باسكال فى 1.5 ساعة.
- افتح حمام الهواء ليتعادل الضغط الداخلى مع الضغط الجوى.
- يفتح الأوتوكلاف وتوضع العينات فى ماء درجة حرارته 90 ، ويبرد بماء ليصل لدرجة حرارته 23 درجة مئوية فى 15 دقيقة.
- جفف العينات وقس الطول وليكن $ل_2$.
- تحسب النسبة المئوية للتمدد = $\frac{ل_2 - ل_1}{ل_1} \times 100$
- لا تزيد النسبة المئوية للتمدد للأسمنت عن 0.8% ، ولا تزيد عن 0.5% للأسمنت ذو النعومة 4100.

2ـ10ـ6 كثافة الأسمنت (Density Cement):

- يجرى هذا الاختبار طبقا للمواصفة ASTM C188-84 لتحديد كثافة الأسمنت ، والتى تمثل النسبة بين كتلة الأسمنت وحجم حبيباته.
- تستخدم قنينة الكثافة الموصوفة فى شكل (2ـ14).
- توضع كمية من الكيروسين فى القنينة بحيث يتم أخذ قراءة على التدريج وليكن (أ).
- ضع وزن حوالى 64 جرام من الأسمنت فى القنينة لطرد آية هواء محبوس بتحريك القنينة حركة دورانية .
- اقرأ سطح الكيروسين الذى يرتفع للقراءة (ب).
- كثافة الأسمنت = $\frac{\text{كتلة الأسمنت}}{\text{ب} - \text{أ}}$



شكل (2ـ14) قنينة الكثافة

2ـ10ـ7 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية:

Compressive Strength of Cement Mortars:

1. الهدف:

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باختبار مكعبات قياسية من مونة الأسمنت. ويتم خلطها يدوياً ، وتدمك ميكانيكياً بماكينة اهتزاز قياسية. ويعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت .

2. الأجهزة:

- ماكينة اهتزاز قياسية (سرعة الهز 12000±400 هزة فى الدقيقة).
- يكون قالب الاختبار قياسى بأبعاد 70.7 ملليمتر ومساحة كل سطح من أسطحه 500مم^2.
- يصنع القالب من معدن لا يتأثر بمونة الأسمنت ، ويكون متينا بالدرجة التى تمنع التشوهات ، ومصمما بحيث يسمح بسهولة نزع العينة منه دون حدوث أى أضرار بهـا. وتجمع أجزاء القالب بوسيلة تجعله متماسكا أثناء الملء والتداول.
- يزود كل قالب بقاعدة من لوح صلب لمنع تسرب المونة من القالب أو الماء . ويكون وزن القالب والقاعدة متوافقا مع متطلبات ماكينة الاهتزازات.

- حوض المعالجة : يحتوى على ماء صالح للشرب ، ويغير هذا الماء كل سبعة أيـــام على الأكثر أو حين الحاجة لذلك ، وتكون درجة حرارة الماء به 20±2 درجة مئوية.
- ماكينة اختبار الضغط : تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع حمل متوقع للعينة بين 20–80% من تدريج القياس بالماكينة ، ويراعى التحميل من الـصفر ويـزداد تـدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم^2 فى الدقيقة.

3. العينات:

يتم اختبار ثلاثة مكعبات بأبعاد 70.7×70.7×70.7 ملليمتر عند كل عمر اختبار.

4. خطوات الاختبار:

- تكون درجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء خلط وصب العينات كما هو موضح بجدول (2ـ8).

جدول (2ـ8) اشتراطات الحرارة والرطوبة النسبية والتفاوتات المسموح بها

المكان	درجة الحرارة (مئوية)	أقل رطوبة نسبية (%)
غرفة الخلط	2±20	% 65
غرفة المعالجة	2±20	% 90
ماء حوض المعالجة	2±20	ــــ
حجرة ماكينة الضغط	2±20	% 50

- ملحوظة : قبل إجراء الاختبار يراعى أن تكون درجة حـرارة المـواد المـستخدمة والقوالب هى نفس درجة حرارة غرفة الخلط ، ويتم ذلك بحفظها داخل الغرفة لمـدة كافية.
- يشترط فى الرمل القياسى المستعمل فى هذا الاختبار ما يلى:
  - لا تقل نسبة السيليكا فيه عن 90% بالوزن.
  - يكون مغسولاً ومجففاً جيداً، ولا يزيد محتوى الرطوبة به عن 0.1% بالوزن على الأساس الجاف.
  - لا يزيد الفقد فى الوزن بعد معالجته بحمـض الهيـدروكلوريك الـساخن علـى 0.25%.
  - يمر جميعه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 850 ميكرون)، ولا يزيد المار منه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 600 ميكرون) على 10% بالوزن.
- تحضر الأوزان اللازمة (الرمل والأسمنت والماء) لكل مكعب كما هو موضح بجدول (2ـ9).

جدول رقم (2ـ9) نسب الخلط للمكعب الواحد

نوع الأسمنت	المواد	النسب بالوزن	الوزن (جرام)
كل أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	1±185
	رمل	3.0	1±555
	ماء	0.4	1±74
الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	1±190
	رمل	3.0	1±570
	ماء	0.4	1±76

- يثبت القالب على ماكينة الهز ويركب الدليل فوق القالب.

- تخلط المونة الخاصة بكل مكعب على سطح غير مسامى ممسوح بقطعة قماش مبتلة، ويخلط الأسمنت والرمل وهما جافان لمدة دقيقة باستعمال عدد اثنين من المسطرين القياسى، ثم يضاف الماء ويتم خلط المكونات لمدة 4 دقائق باستخدام المسطرين.
- تنقل المونة فور خلطها وبسرعة إلى دليل القالب ويهز القالب لمدة دقيقتين على ماكينة الاهتزاز القياسية .
- يرفع القالب من ماكينة الاهتزاز ويوضع فى غرفة المعالجة فى جو رطوبته النسبية 90% على الأقل ودرجة حرارته 20±2 درجة مئوية لمدة 24±0.5 ساعة. ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القوالب بلوح معدنى مستوى غير مسامى مثل الحديد أو المطاط لمنع تبخر الماء.
- تفصل العينات من القوالب وتوضع فى حوض المعالجة الذى يحتوى على ماء الشرب النظيف لحين وقت اختبارها، على أن يتم وضع علامة مميزة على كل مكعب لتمييزه عن الآخر.
- ملحوظة: العينات المطلوب اختبارها بعد 24 ساعة تفصل من قوالبها قبل 15 إلى 20 دقيقة من اختبارها ، وتغطى بقطعة قماش مبللة للحفاظ على رطوبتها ، وإذا كانت درجة تماسك المونة بعد 24 ساعة تؤدى إلى إنهيار المكعب ، تؤجل عملية فصل المكعبات من القوالب لمدة 24 ساعة أخرى ، ويسجل ذلك فى تقرير الاختبار .
- يحسب عمر اختبار العينات من وقت إضافة الماء للمواد ، وعادة ما تختبر بعد الأعمار التالية : يوم واحد (24±0.5) ساعة، ثلاثة أيام (72±1) ساعة، سبعة أيام (168±1) ساعة ، 28 يوما (672±1) ساعة.
- ترفع المكعبات من الماء عند حلول موعد اختبارها ، ويمسح الماء الزائد من أسطحها بواسطة قطعة قماش رطبة ، وتزال أى نتوءات سطحية بسيطة .
- توضع المكعبات على أحد جوانبها ، وهى لاتزال مشبعة بالماء على لوح جهاز قياس مقاومة الضغط ، ويراعى ألا يستخدم حشو بين المكعب واللوح. ثم يطبق الحمل ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم^2 فى الدقيقة ، على أن يكون محورا العينة والحمل متطابقين تماماً.
- تسجل قيمة الحمل الذى يحدث عنده الكسر كما تسجل حالات الكسر غير العادى.

5. النتائج:

- تحسب مقاومة الأسمنت للضغط من متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات مختبرة عند نفس العمر مع تقريب النتائج لأقرب 0.5 نيوتن/مم^2 كما يلى:

$$\text{مقاومة الضغط} = \frac{\text{متوسط حمل التهشيم لثلاثة مكعبات}}{\text{المساحة المعرضة للحمل}}$$

- إذا انحرفت نتيجة مقاومة ضغط أحد المكعبات الثلاثة عن المتوسط بمقدار ±5.0% تحذف هذه القيمة ويعاد حساب متوسط النتائج الباقية.
- إذا زاد عدد المكعبات التى انحرفت نتائجها عن المتوسط بمقدار ±5.0% عن مكعب واحد تحذف نتائج المجموعة كلها.

6. حدود القبول أو الرفض:

- تكون حدود القبول أو الرفض لمقاومة الضغط كما هو موضح بجدول (2ــ10):

جدول رقم (2ــ10) حدود المواصفات لمقاومة الضغط لمكعبات المونة الأسمنتية (نيوتن/مم2)

نوع الأسمنت	بعد 24 ساعة لاتقل عن	بعد 3 أيام لاتقل عن	بعد 7 أيام لاتقل عن	بعد 28 يوم لاتقل عن
أسمنت بورتلاندى عادى	ــــــ	18	27	36
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	ــــــ	24	31	40
أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	ــــــ	18	27	36
أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	ــــــ	7	13	27
الأسمنت البورتلاندى الأبيض	ــــــ	18	27	36
الأسمنت البورتلاندى المخلوط بالرمل	ــــــ	12	20	27
أسمنت بورتلاندى ذو النعومة 4100	10	25	32.5	40
أسمنت حديدى	ــــــ	13	21	34
أسمنت عالى الألومينا 80 70 50 40	 25 30 50 50	ــــــ	ــــــ	ــــــ

2ــ10ــ8 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية باستخدام جزء من منشور تم اختباره انحنائياً:

Compressive Strength of Cement Mortars Using Portions of Prisms Tested In Flexure:

يغطى هذا الاختبار تحديد مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باستخدام أجزاء من منشور تم اختباره تحت تأثير الانحناء. ويعتبر تعيين مقاومة الضغط باستخدام جزء من منشور لأغراض مرجعية وليست بديلة للمكعبات (طبقاً للمواصفات المصرية القديمة م.ق.م 1991/373). والمواصفة الأوروبيه الحالية والمصرية الجديده تستخدم تلك التجربه للتعبير عن مقاومة الضغط للحكم على رتبة الأسمنت .

1. الهدف:

يهدف الاختبار لتحديد مدى مقاومة المونة للضغط من خلال استخدام أجزاء من منشور تم اختباره تحت تأثير الانحناء. ولا يستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت.

2. الأجهزة:

- ألواح تحميل لا يقل سمكها عن 25 مم مصنوعة من حديد صلب بأبعاد (40.32×50.8 مم) ولها صلادة لا تقل عن 60 بمقياس روكويل.
- ماكينة اختبار الضغط: تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع أقصى حمل متوقع للعينة بين 20– 80% من تدريج القياس بالماكينة. ويراعى التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم^2 فى الدقيقة.

3. العينات:

لابد أن تكون أجزاء العينات المختارة خالية وبعيدة عن الشروخ أو أى عيوب ظاهرة أخرى ، ولا يقل طول العينات عن 64 مم.

4. خطوات الاختبار:

- يتم صب منشور (40 × 40 × 160 مم) بعدد قياسى (3منشور) بعد 24 ساعة يتم فك القوالب ومعالجة العينات قياسياً (غمر فى الماء درجة حرارته 23 ± 2 .
- تختبر المنشورات فى الإنحناء .
- تجفف العينات بقطعة قماش رطبة ثم تزال أى حبات رمال من أسطح العينة.
- يجب التأكد من استواء أسطح العينات.
- توضع العينة فى ماكينة الاختبار كالآتى:
    - يتم وضع الجزء السفلى من أداة ضبط ألواح التحميل بحيث يتطابق محور الأداة مع محور ماكينة الضغط .
    - توضع العينة على اللوح السفلى للتحميل بحيث يكون البعد 50.8 مم لألواح التحميل متعامداً على المحور الطولى للمنشور. وعلى ذلك تكون المساحة المعرضة للتحميل 40×40 مم ، ثم يتم وضع اللوح العلوى باستخدام أداة ضبط الألواح.
    - يتم التحميل بمعدل منتظم وتدريجياً كما هو موضح باختبار مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية .
    - يراعى ألا تزيد الفترة بين اختبار الانحناء واختبار الضغط عما يلى:

عمر الاختبار	الفترة الزمنية المسموح بها
1 يوم	10 دقائق
أعمار أخرى	30 دقيقة

5. النتائج:

- يتم تسجيل أقصى حمل لكسر العينة ، ويتم حساب مقاومة الضغط للمكعب المكافئ كالآتى:

$$S_c = 0.062P$$

حيث

← Sc: مقاومة الضغط بالكيلو باسكال.

← P: حمل الكسر بالنيوتن.

- يتم حساب المقاومة لأقرب 50 كيلوباسكال.

الباب الثالث
الخرسانة الطازجة (Fresh Concrete)

3_1 مقدمة:

تمر الخرسانة عند تجهيزها وصبها بمراحل متعددة؛ وأول هذه المراحل هي مرحلة الخرسانة الطازجة، وتمتد هذه المرحلة من بداية خلط الخرسانة حتى بداية حدوث الشك الابتدائي للخرسانة، ولابد من أن تتوفر فى الخرسانة الطازجة مواصفات خاصة لها مثل التشغيلية والقوام. وقد تعطى نتائج هذه المواصفات دلائل لخواص الخرسانة فى المراحل التالية لها، وتستخدم اختبارات الخرسانه الطازجه كطريقة لضبط الجودة فى الموقع. وتتوقف خواص الخرسانة الطازجة على نوع المنشأ المستخدم وقطاعاته والمسافات الخالصة بين صلب التسليح ، وكذلك طريقة الصب ؛ فمما لا شك فيه أن خواص الخرسانة المستخدمة فى حالة الصب بواسطة المضخات تختلف عن مثيلتها المستخدمة بالطرق العادية. وأهم خواص الخرسانة الطازجة هى القوام والتشغيلية والانفصال الحبيبى والنزيف.

3_2 قوام الخرسانة Consistency :

يعبر قوام الخرسانة التى لاتحتوى على الإضافات عن درجة بللها ومحتوى المياه فيها، فتوجد خرسانة جافة وخرسانة صلبة ولدنة ومبللة ومائية القوام ، فالخرسانة التى تحتوى على ماء قليل جداً ، بحيث يظهر الركام غير مبلل يطلق عليها خرسانة ذات قوام جاف (Dry Consistency)، وإذا ضغط مهندس ما على الخرسانة المصبوبة بقدمه فلن تحدث علامة.

والخرسانة ذات محتوى الماء القليل تظهر متماسكة، وتظهر فيها أثر سطحى لقدم المهندس عند الضغط عليها، ويقال أن الخرسانة قوامها صلب (Hard)، ومن السهل أن يلاحظ المهندس تلك الخرسانة عند نزولها من الخلاطة على هيئة مخروط متماسك. أما الخرسانة ذات محتوى الماء المتوسط والتى تظهر فيها جزئيات الماء لامعة فى ضوء النهار والتى تترك أثر غائر لقدم المهندس يقال أنها خرسانة ذات قوام لدن (Plastic). والخرسانة ذات محتوى الماء العالى والتى يظهر بها الماء للعين المجردة وتتحرك جانبياً عند الضغط عليها، يقال أن قوامها مبلل (Wet). أما الخرسانة ذات محتوى الماء العالى جداً، فإن الماء يتحرك لخارج الخرسانة عند الأطراف منفصلا عنها، ويسمى ذلك القوام قوام مائى (Sloppy)، وهذا القوام لايمكن استخدامه فى المنشآت إذا كانت الخرسانة بدون إضافات كيميائية.

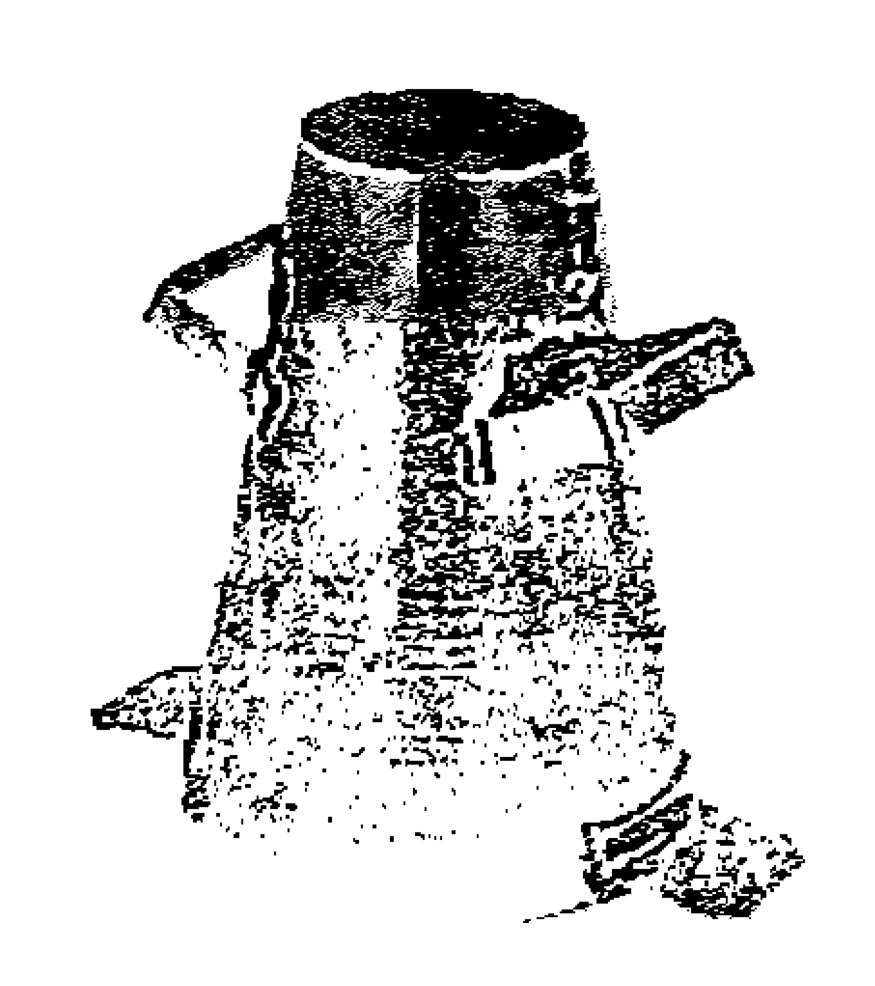
وللحكم على نوع القوام بأسلوب علمى توجد عدة طرق تستخدم لتعيينه وهى:

- اختبار الهبوط (Slump Test).
- اختبار منضدة الانسياب (Flow Table Test).
- اختبار كرة الاختراق (غير مستخدمة الآن) (Ball Penetration Test).

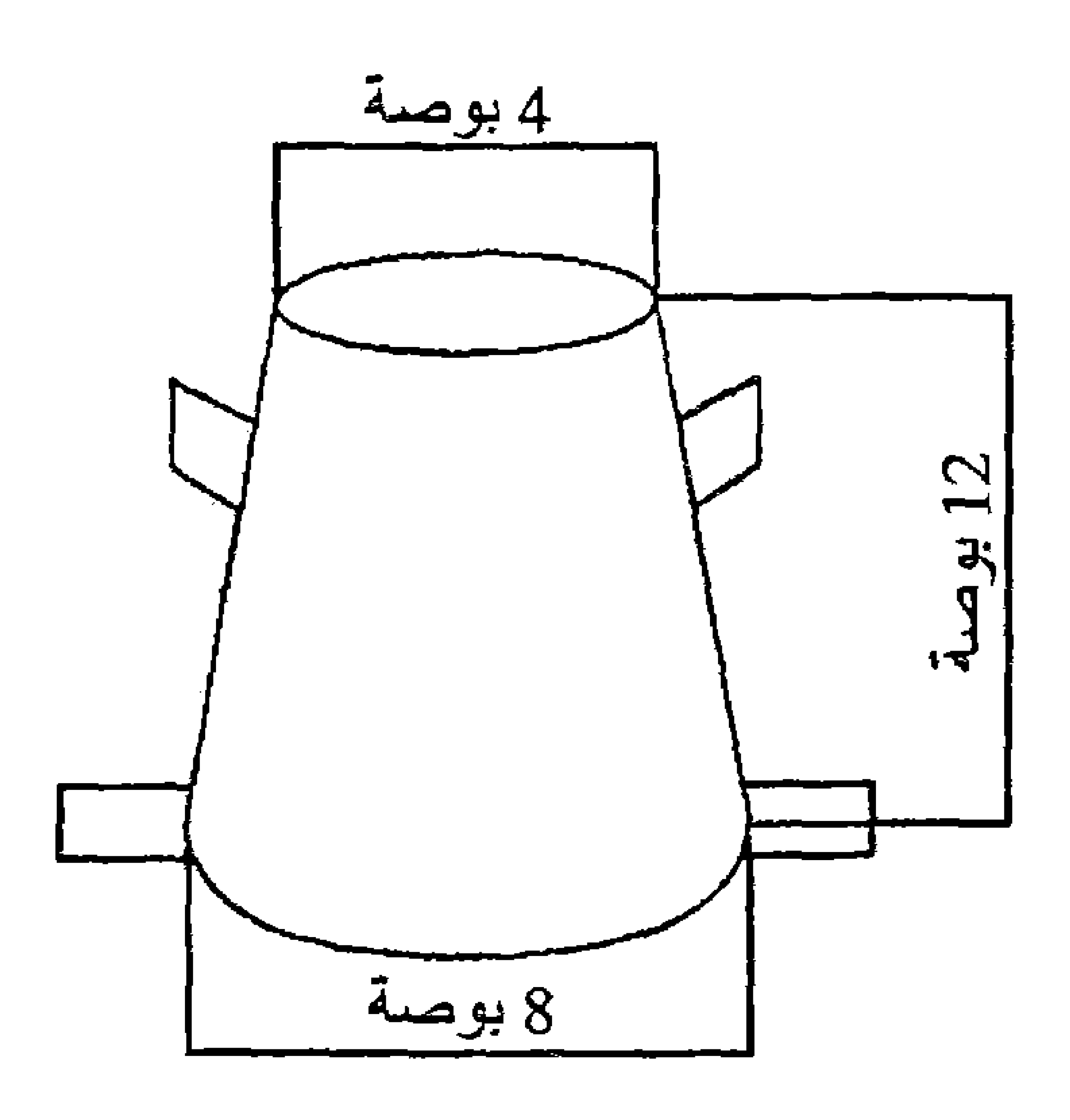
3_2_1 اختبار الهبوط Slump Test:

الغرض من الاختبار هو تعيين قوام الخرسانة عن طريق معرفة درجة هبوطها. ويستخدم هذا الاختبار نظراً لسهولته كاختبار ضبط جودة رخيص الثمن؛ حيث تعطى نتائجه معلومات

لا بأس بها عن نسب مكونات الخلط وخاصة الماء . ويمكن إجراء هذا الاختبار فى المعمل أو الموقع. ويستخدم لهذا الاختبار مخروط مفتوح من نهايته بالأبعاد المبينة بالشكل (3ـ1).



شكل (3ـ1ـ أ) مخروط الهبوط



شكل (3-1-ب) مقاس مخروط الهبوط

ـ *خطوات الاختبار:*

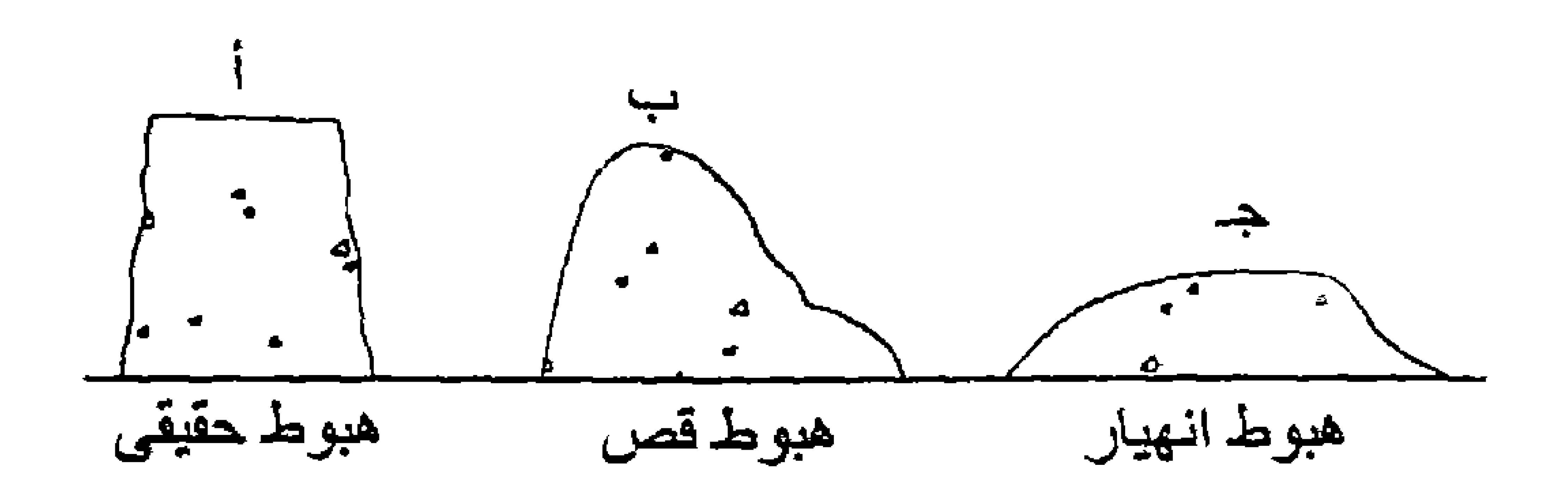
1. ينظف السطح الداخلى للمخروط، ويبلل سطحه الداخلى بالماء أو الزيت لكى يسهل رفع المخروط بعد ذلك.
2. توضع الخرسانة المراد تعيين قوامها فى المخروط على ثلاث طبقات مع دمك كل طبقة 25 مرة بقضيب الدمك القياسى (قطر 16 مم).
3. يسوّى سطح الخرسانة عند نهاية المخروط، ثم يرفع المخروط بحرص وببطء، ثم يقاس هبوط الخرسانة بالنسبة لقمة المخروط. ويجب أن يكون الهبوط صحيح ليس ناتج عن صدم للخرسانة بالمخروط المعدنى، ولذلك يجب إعادة الاختبار مرة أخرى إذا حدث هبوط قص أو هبوط انهيار. فإذا تكرر حدوث هبوط القص أو هبوط الانهيار، دل ذلك على أن الخلطة يجب إعادة تصميمها. ويمكن تقسيم الخرسانة إلى أنواع قوام مختلفة على حسب هبوطها كما بجدول (3ـ1).

جدول (3ـ1) تقسيم القوام بناءً على قيمة الهبوط

الهبوط (سم)	صفرـ2	2ـ4	4ـ12	12ـ20	أكبر من 20
قوام الخلطة	جاف	صلب	لدن	مبلل	مائي

4. احكم على الهبوط بالمقارنة بالمواصفات الموضوعة للعملية.

شكل رقم (3-2) يوضح أشكال الهبوط المتوقعة.



شكل (3ـ2) أشكال الهبوط المتوقعة

ـ احتياطات اختبار الهبوط:

- لا يمكن قياس هبوط خرسانة مستخدمة فيه ركام مقاسه الإعتبارى الأكبر أكبر من 4سم، وفى تلك الحالة يجب استبعاد أى ركام مقاسه أكبر من 4سم.
- يجب عمل طبلية أفقية تماماً فى الموقع لوضع الجهاز عليها.
- يجب أن يقوم بإجراء الاختبار خبير، ولايسمح بإحداث صدمات أفقية أو رأسية عند رفع المخروط المعدنى.
- يجب إجراء الاختبار عدة مرات عبر يوم العمل فى الموقع.
- للهبوط الأقل من 5 سم يمكن السماح بـ $\pm$ 1سم.
- للهبوط من 5ـ10 سم يمكن السماح بـ $\pm$ 2سم.
- للهبوط الأكبر من 10 سم يمكن السماح بـ $\pm$ 3سم.

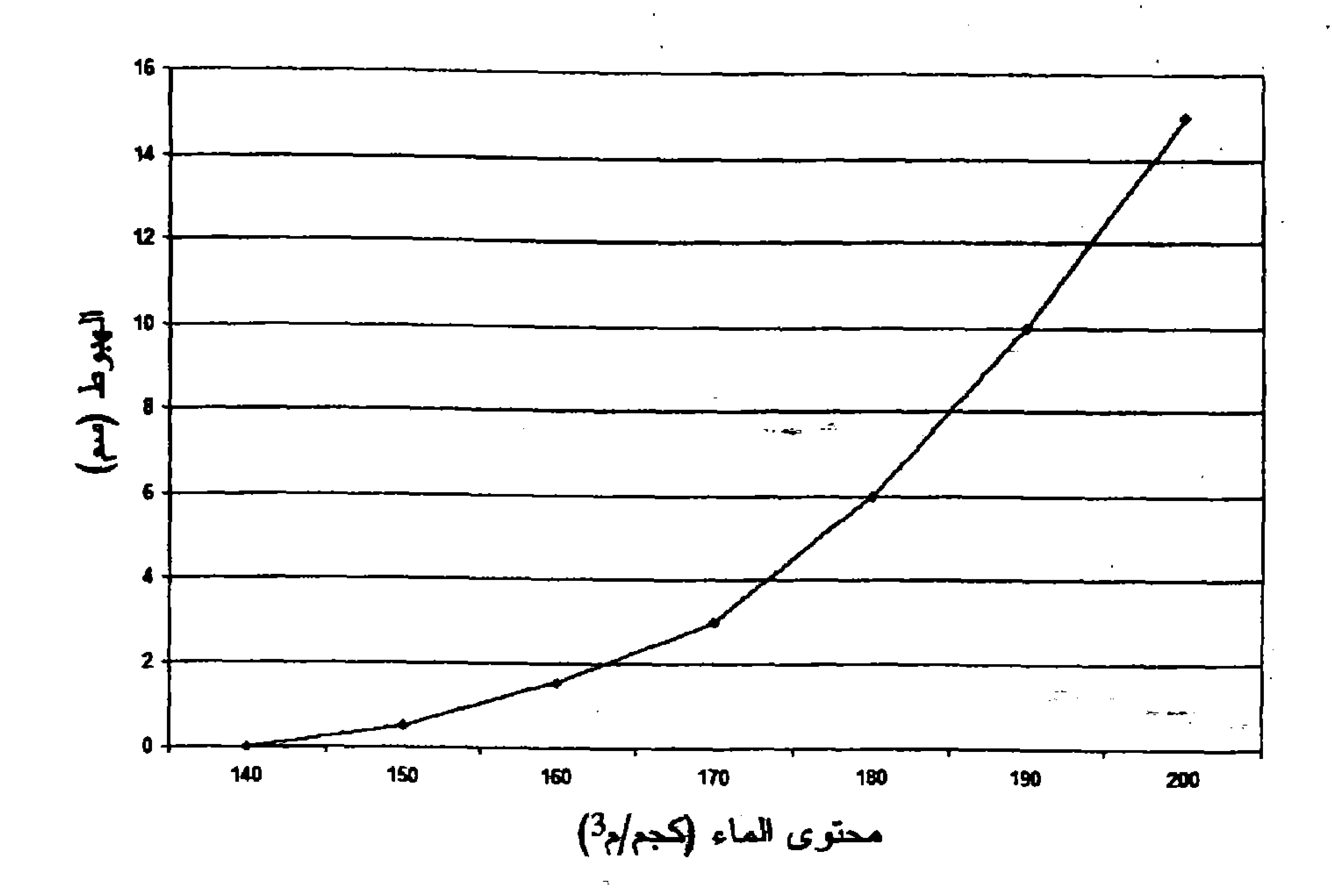
ـ العوامل المؤثرة على هبوط الخرسانة:

1. محتوى الماء:

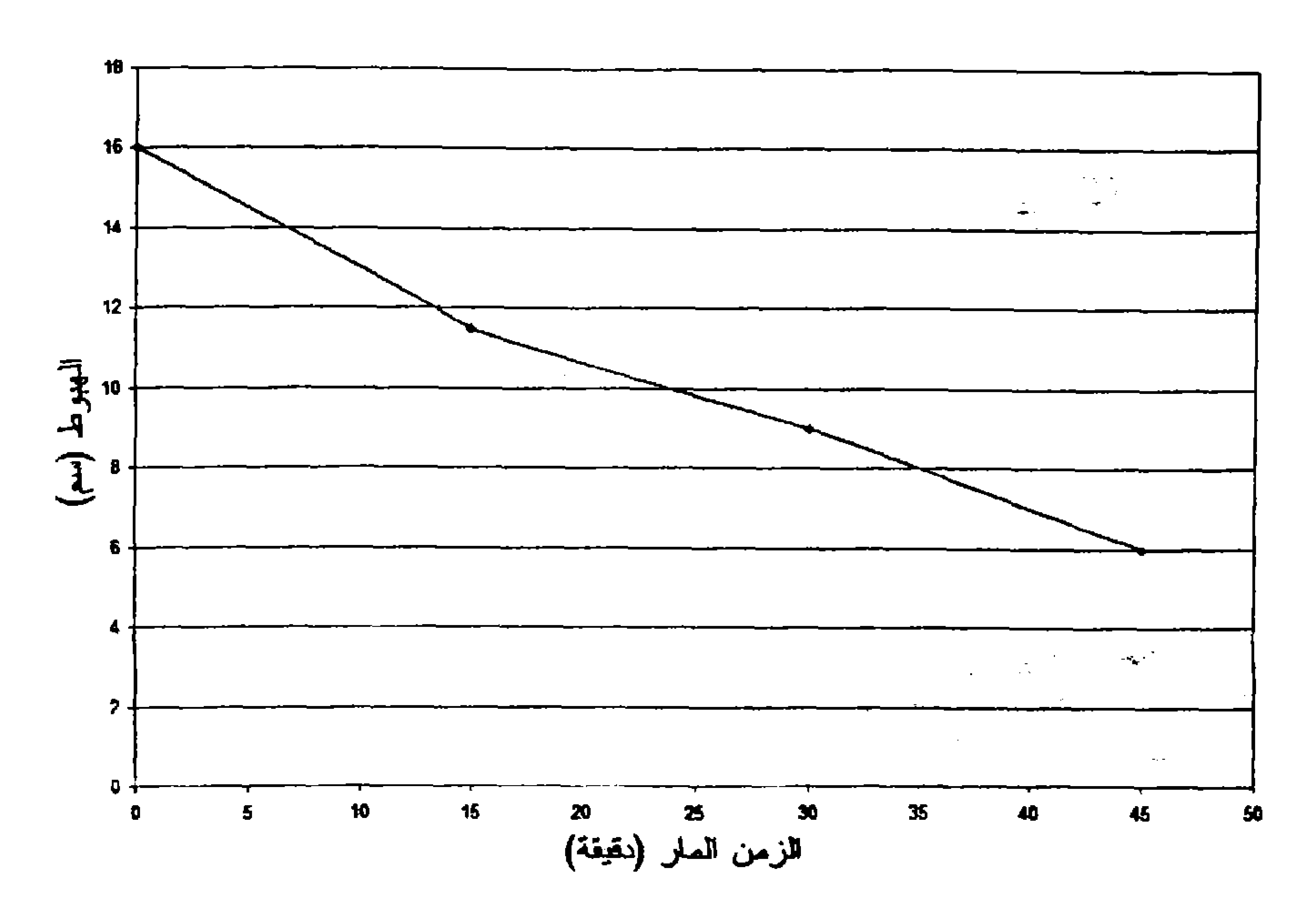
كلما زاد محتوى ماء الخلطة يزيد الهبوط، وذلك نظراً لقلة الاحتكاك، و يتضح ذلك من شكل (3ـ3).

2. الزمن المار من لحظة الخلط:

بعد الخلط يبدأ الأسمنت فى الاتحاد مع ماء الخلط، وتبدأ الخرسانة مع مرور الزمن فى فقد هبوطها حتى تفقد الهبوط كلياً، وتبدأ بعد ذلك فى التصلب. وشكل (3ـ4) يوضح هذه الظاهرة.



شكل (3ـ3) العلاقة بين محتوى الماء بالخلطة و الهبوط

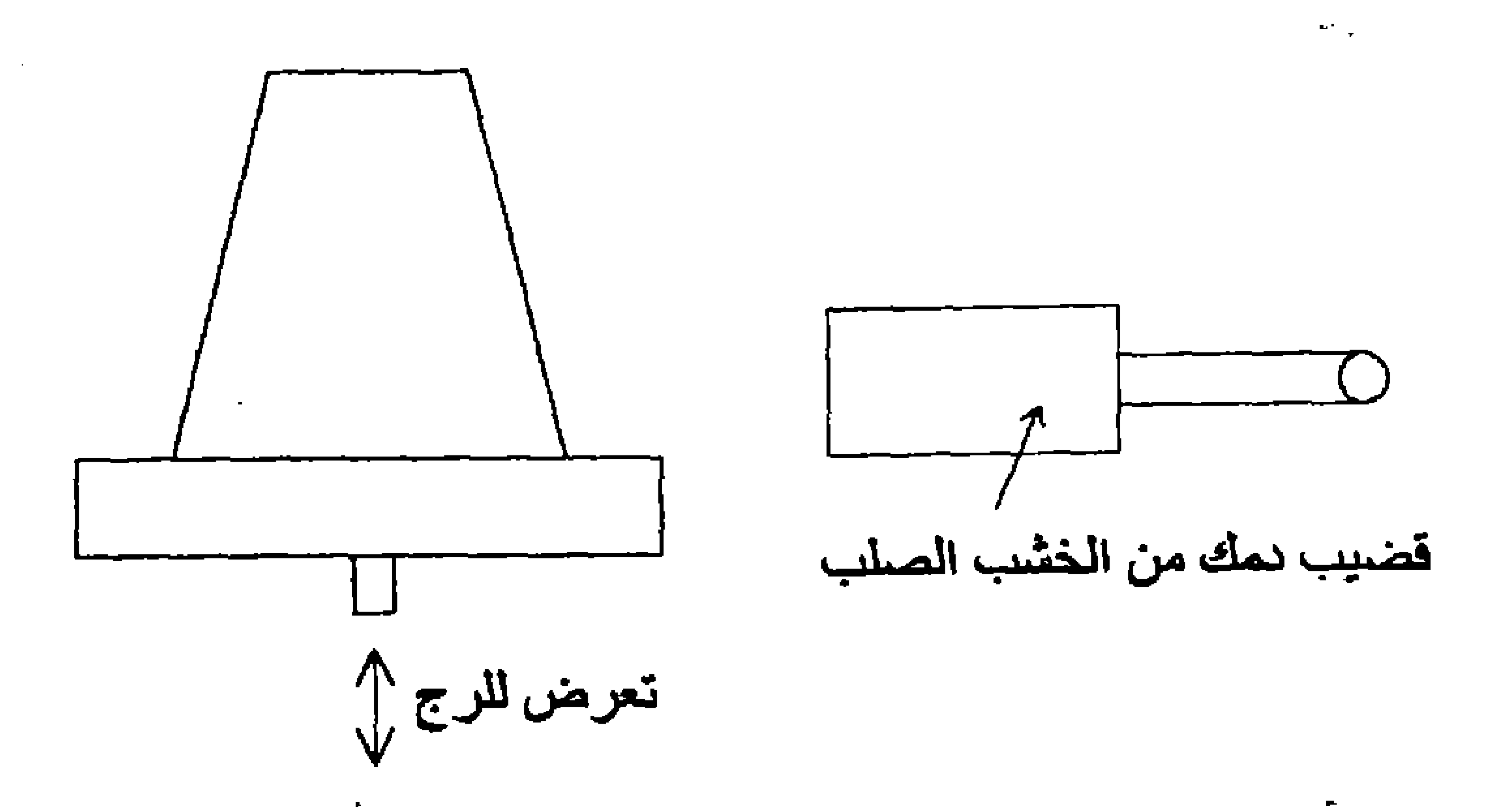


شكل (3ـ4) تأثير الزمن المار على هبوط الخرسانة

وتوجد عوامل أخرى مثل خواص الركام وتأثير درجة حرارة الجو وتــأثير الإضــافات الكيميائية؛ والتى سوف تُذكر لاحقاً.

3ـ2ـ2 اختبار الانسياب Flow Test:

الغرض من هذا الاختبار هو دراسة النسبة المئوية لانسياب الخرسانة التى تعبر عن نـــوع قوامها، ويستخدم لذلك الاختبار الجهاز المبين بشكل رقم (3ـ5).



شكل (3ـ5) فكرة منضدة الانسياب

ـ خطوات الإختبار :

1. ينظف قاعدة الجهاز جيداً، وكذلك القالب الخاص بالجهاز مع تنظيف القالب جيـــداً قبـــل الاستخدام.
2. يوضع القالب فوق قاعدة الجهاز فى مكانه الصحيح حيث يوضح القالب فى مركز الجهاز تماماً.
3. يتم ملء القالب بالخرسانة المراد اختبارها على طبقتين مع دمك كل طبقـــة 10 مـــرات باستخدام قضيب الدمك القياسى.
4. يرفع القالب المعدنى ويشغل الجهاز، حيث يسمح لقاعدة الجهاز بالارتفاع والانخفـــاض لمسافة قياسية $^{1}\backslash_{2}$ بوصة وذلك 15 مرة فى فترة 60 ثانية فى المتوسط.
5. نتيجة لعملية الاهتزاز السابقة يتحول شكل المخروط إلى شكل غير منتظم، ثم يتم قيـــاس القطر المتوسط لذلك الشكل عن طريق قياس القطر فى عدة اتجاهات و تحسب النـــسبة المئوية للانسياب كما يلى:

$$\frac{\text{القطر المتوسط} - 20}{20} \times 100$$

ومن المهم التأكيد على أن أبعاد المخروط تختلف حسب نوع المواصفة.

وتعطى قيم النسبة المئوية للانسياب دلالة على قوام الخرسانة كما هـــو موضـــح بجـــدول (3ـ2).

جدول (3ـ2) تقسيم القوام بناءً على النسبة المئوية للانسياب

النسبة المئوية للانسياب (%)	صفر-20	20-60	60-100	100-120	أكبر من 120
قوام الخرسانة	جاف	صلب	لدن	مبلل	مائى

وفى بعض الأبحاث قد يكون القطر المتوسط معبّر عن الانسياب. ويفيد هذا الاختبار كذلك فى الحكم على قابلية الخرسانة للانفصال نتيجة تعرضها للرج، وشكل (3ـ6) يوضح كيفيـة استخدام ذلك.

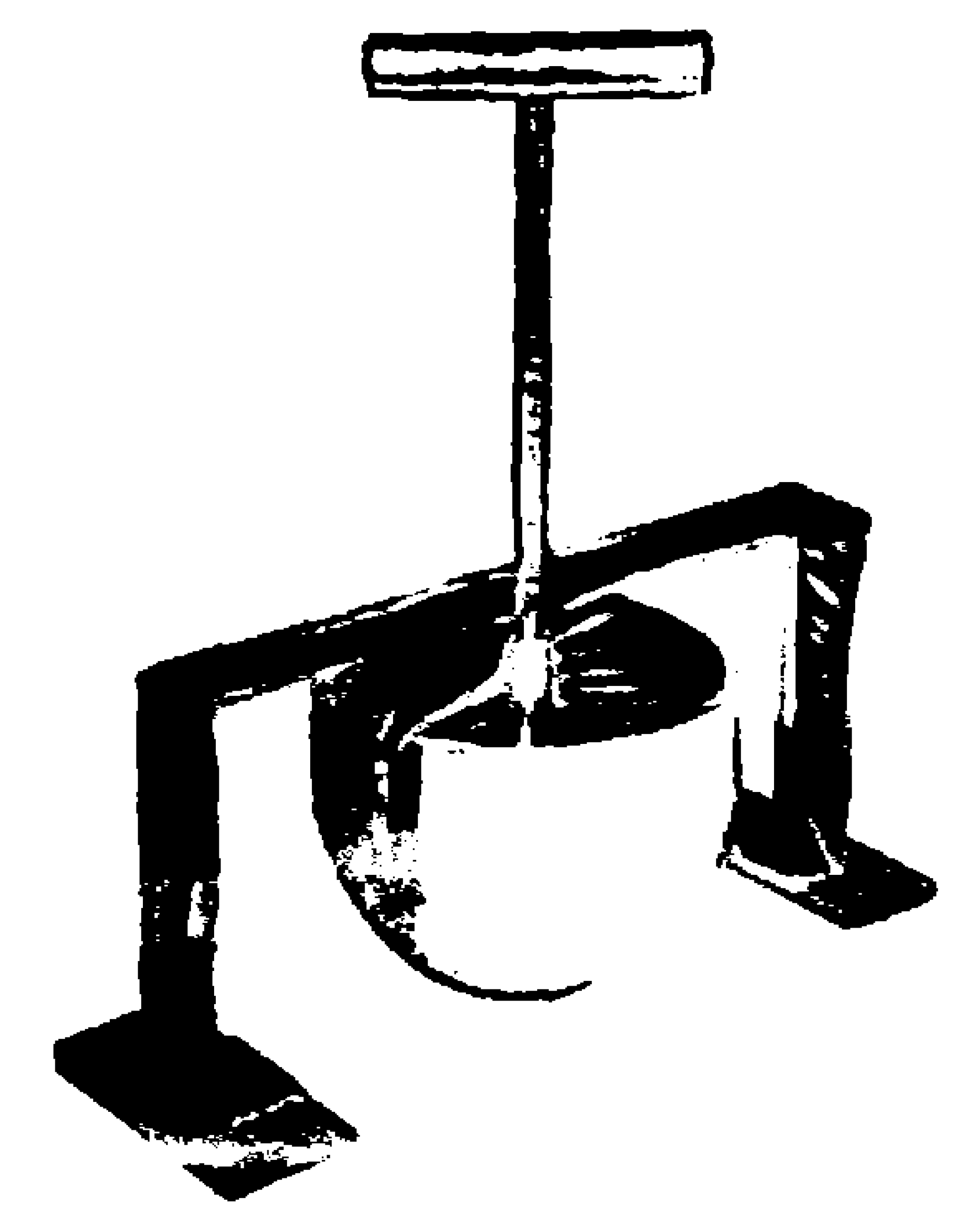


شكل (3-6) الحكم على حدوث الانفصال أو النزيف

3ـ2ـ3 اختبار كرة الاختراق:

ويشبه هذا الاختبار إلى حد ما اختبار الهبوط، وتعتمد فكرة ذلك الاختبار علـى اختـراق جزء من كرة لها وزن معين (حوالى 13.6 كجم) لسطح الخرسانة ، ويمكـن إجـراء ذلـك الاختبار للخرسانة وهى فى الشدة فى الموقع، ويمكن إجراؤه فى المعمل أيـضا، وتـتلخص خطوات الاختبار فيما يلى:

1. تسوية الخرسانة المراد اختبارها جيداً مع مراعاة ألا يقل سمك الخرسانة المختبرة عـن 15سم حيث تتأثر قيم الاختراق بسمك الخرسانة المختبرة حيث يزداد قيم الاختراق بزيادة سمك الخرسانة.
2. يوضع الجهاز فوق الخرسانة المختبرة، ويسمح للكرة باختراق الخرسانة المختبرة تحت تأثير وزنها، ويقاس قيمة الاختراق، ويجب تكرار الاختراق فى أماكن مختلفة وحـساب القيمة المتوسطة ، لذلك الاختراق، ويبين شكل (3ـ7) الجهاز.



شكل (3ـ7) اختبار كرة كيللى

3ـ3 تشغيلية الخرسانة (Workability):

وتشغيلية الخرسانة هى الخاصية التى تعبر عن سهولة خلط ونقل وصب ودمك وتسوية سطح الخرسانة دون حدوث نزيف أو انفصال للخرسانة، والهدف من خاصية التشغيلية هو ملء شدات الخرسانة لتأخذ الخرسانة شكل العضو الإنشائى، ولتحقق المنظر المعمارى دون تشوهات أو حدوث تعشيش (فجوات صغيرة بالخرسانة)، أو حدوث نسبة فراغات عالية. ولذلك يمكن إجمال تعريف التشغيلية على أنها مقدار الشغل المبذول لإنتاج خرسانة تامة الدمك بدون حدوث انفصال أو نزيف بها. وكلما اقتربت الخرسانة من كونها سائل، فسوف تسلك سلوك السوائل، حيث تملأ الشدات دون الحاجة إلى أى دمك خارجى، وهذا ما توصل إليه المهندسون خلال العقد الأخير بواسطة إضافات خاصة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك. وكلما اقتربت الخرسانة من كونها جافة، فإنها تقترب من التربة والمواد الصلبة التى يصعب أن تملأ الشدات بدون الحاجة لطاقة خارجية لدفع الخرسانة للحركة لملء الشدات وتقليل الفراغات فيما بينها للحصول علي أعلي كثافة ممكنة.

3ـ3ـ1 الانفصال (Segregation):

الأصل فى صب الخرسانة أن تكون الخرسانة متجانسة أو قريبة من التجانس. فإذا أخطأ المهندس فى تصميم الخلطة أو أخطأ فى التنفيذ؛ بحيث تزيد نسبة الركام الكبير فى جزء من العضو عن نسبته فى باقى الأجزاء، يقال أن الخرسانة حدث بها انفصال وهذا يؤدى إلى ضعف المقاومة والتحملية. ويعتبر صب الأعمدة من ارتفاعات عالية مثال لتعرض الخرسانة للانفصال فى حالة عدم الاحتياط.

3ـ3ـ2 النزيف Bleeding:

إذا استخدم المهندس كمية كبيرة من الماء ، وعرّضت الخرسانة لهز زائد أو عرّضت الخرسانة لهز خاطئ ، يصعد ماء الخلط لأعلى سطح الخرسانة حاملاً حبيبات الأسمنت لأعلى، مما يفقد الخرسانة تجانسها، وهذا الماء قد يتجمع أسفل صلب التسليح بحيث يسبب نقص فى مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح، وتجمعه كذلك تحت الركام الكبير، وخاصة الركام المفلطح منه (Flaky) يسبب نقص الترابط بين الركام ومونة الأسمنت.

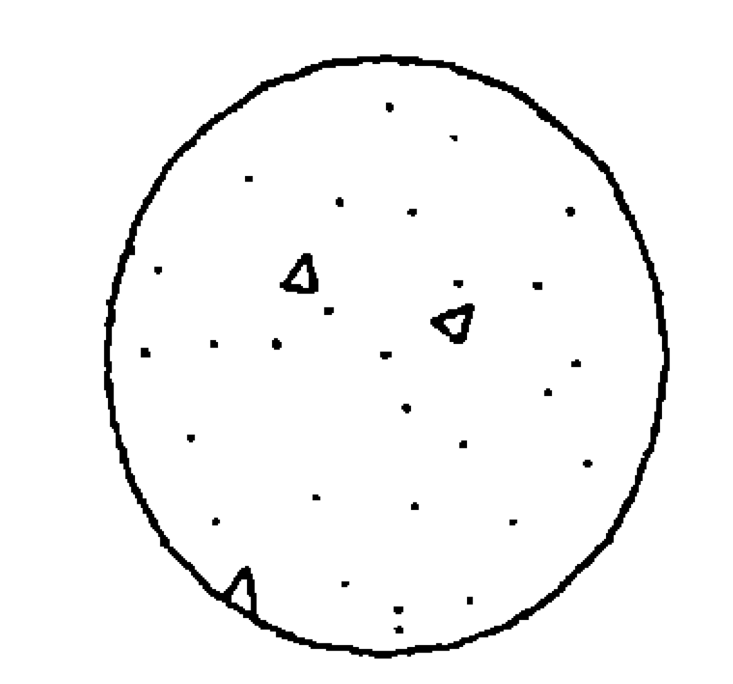
3ـ3ـ3 العوامل المؤثرة على التشغيلية:

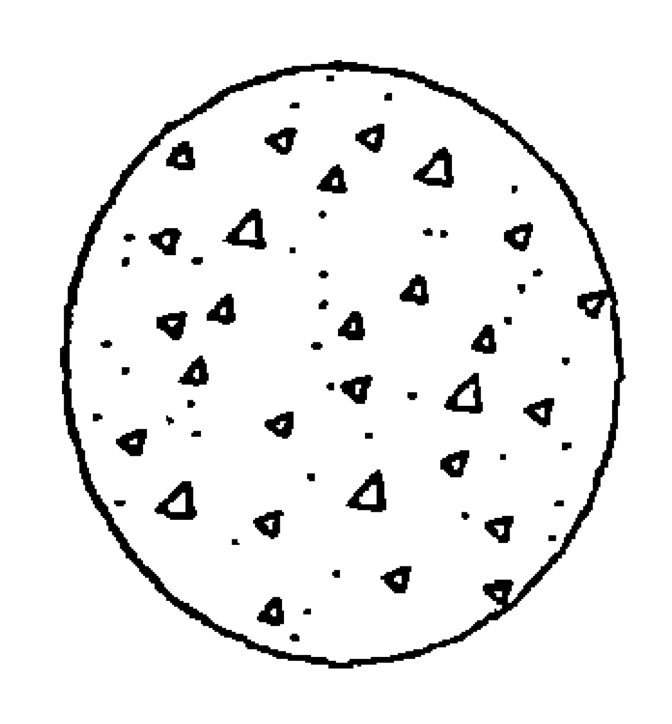
1. خواص الركام:

الركام الدائرى مثل الزلط يحقق تشغيلية أفضل من الركام الزاوى مثل كسر الأحجار. والركام الناعم وقليل المسام السطحية يحقق تشغيلية أفضل من الركام الخشن وعالى مسامية السطح. الركام عالى الامتصاص للماء يقلل التشغيلية. والركام جيد التدرج يقلل التشغيلية عن الركام منتظم التدرج.

2. محتوى عجينة الأسمنت والرمل بالنسبة للركام الكبير:

كما هو واضح من شكل (3ـ8) يتضح أنه كلما زاد محتوى العجينة تتحسن تشغيلية الخرسانة نظراً لنقص الاحتكاك.





محتـوى عجينـــة عـالى تشغيلية أفضل — عجينـــة قليلـــة تشغيلية أقل

شكل (3ـ8) تأثير محتوى عجينة الأسمنت على التشغيلية

3. محتوى الماء:

كلما زاد محتوى الماء فى الخلطة يقل الاحتكاك بين الحبيبات فتتحسن التشغيلية، ولكن إذا تخطى حد معين قد يحدث نزيف مما يؤدى إلى نتائج عكسية.

4. الإضافات المحسنة للتشغيلية:

إن استخدام المواد الملدنة والمواد عالية التلدين تحسن التشغيلية. وتضاف هذه المواد إلى جزء من مياه الخلطة، وتقدر بنسبة من وزن الأسمنت المستخدم فى الخلطة الخرسانية، وتتراوح هذه النسبة من 1 إلى 3% من وزن الأسمنت للمواد عالية التلدين.

5. الهواء المحبوس زيادته تحسّن من تشغيلية الخرسانة.

3ـ3ـ4 اختبارات التشغيلية:

وهناك عدة طرق لتعيين قابلية الخرسانة للتشغيل وهى:

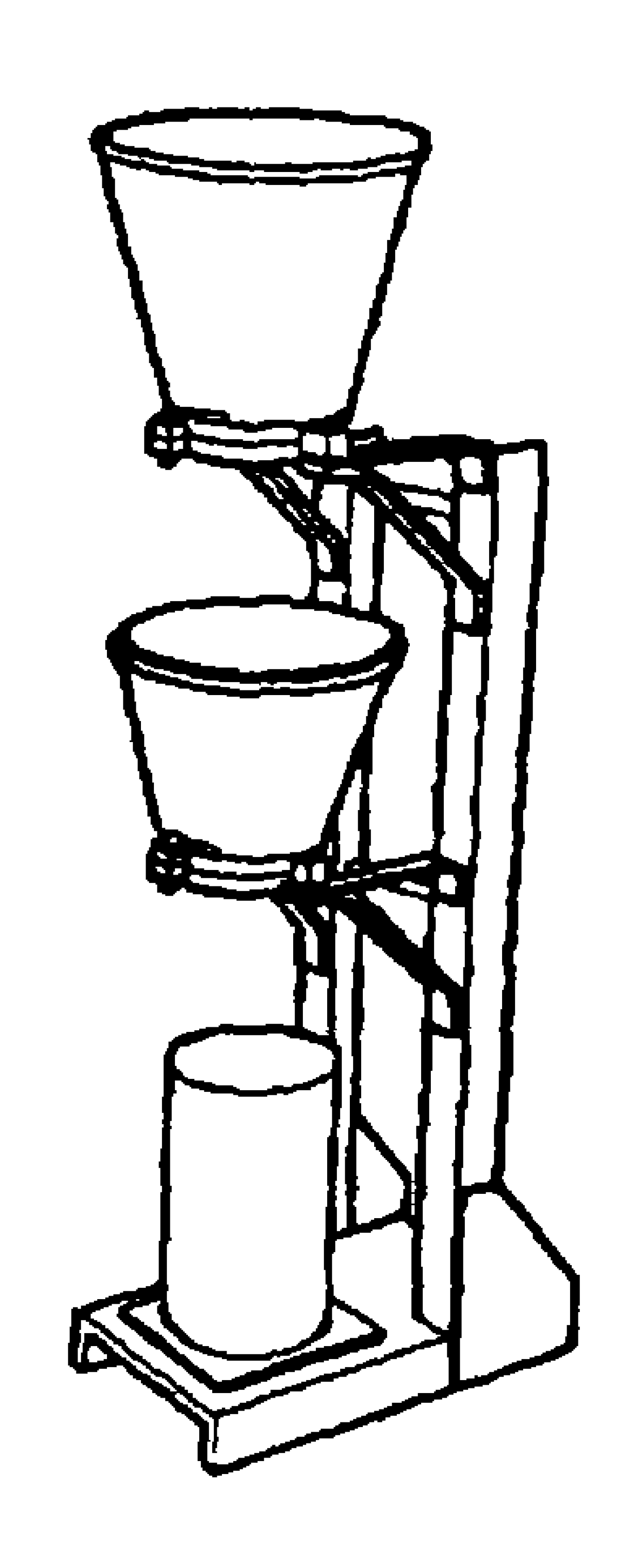
أ. اختبار معامل الدمك Compacting Factor Test.

ب. اختبار إعادة التشكل Remolding Test.

ج. اختبار فى بى V.B. Test.

أ – اختبار معامل الدمك Compacting Factor:

ويستخدم هذا الاختبار لتعيين تشغيلية الخرسانة التى لايزيد مقاسها الاعتبارى الأكبر عن 4سم. وصُمم هذا الجهاز (عدد 2 مخروط واسطوانة) على أساس عمل محاكاة للخطوات التى تمر بها الخرسانة أثناء نقلها وصبها ودمكها ، شكل (3ـ9) يوضح هذا الجهاز.



شكل (3ـ9) اختبار معامل الدمك

ـ *خطوات الاختبار:*

1. تجهيز الخرسانة المراد اختبارها طبقاً لمتطلبات المواصفات القياسية.
2. توضع الخرسانة فى المخروط العلوى ، ويسوى سطحها، وفى هذه الحالة يكون المخروط العلوى مغلق من أسفل.
3. يفتح باب المخروط العلوى، ويسمح للخرسانة بالسقوط تحت تأثير وزنها لتسقط داخل المخروط السفلى.
4. يسمح للخرسانة الموجودة فى المخروط السفلى بالسقوط فى الاسطوانة.
5. نسوى سطح الخرسانة جيداً، ثم توزن وهى مملوءة بالخرسانة ، ويعين وزن الخرسانة فى هذه الحالة (مدموكة دمكاً جزئيا).
   (وزن الخرسانة المدموك جزئياً = وزن الاسطوانة وهى مملوءة – وزن الاسطوانة فارغة)
6. يعاد ملء الاسطوانة بالخرسانة على ثلاث طبقات، مع دمك كل طبقة يدوياً بعدد لايقل عن 30 دمكة أو ميكانيكيا بواسطة هزاز، ويعين وزن الاسطوانة وهى ممتلئة كليا.
   (وزن الخرسانة المدموكة دمكاً كلياً = وزن الاسطوانة المدموكة دمكاً كلياً – وزن الاسطوانة فارغة)

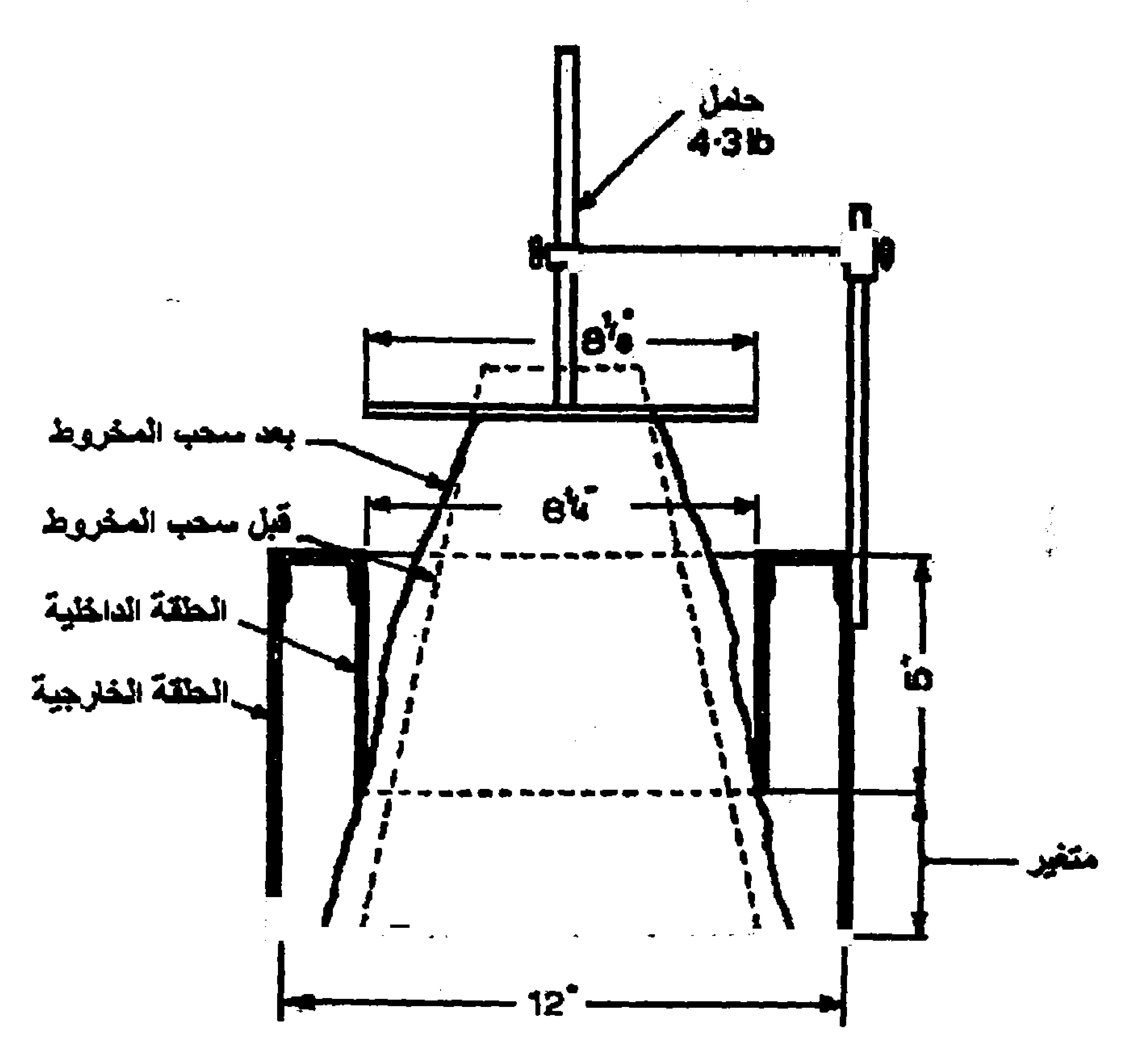
$$\text{معامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكه جزئيا}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً}} \times 100$$

وتتراوح قيمة معامل الدمك من 70ـ98%.

ولا يعبر هذا الاختبار بدقة عن تشغيلية الخرسانة منخفضة التشغيلية (أقل من 70)، أو عن تشغيلية الخرسانة المرتفعة (أكبر من 98).

ب - اختبار إعادة التشكل *Remolding Test* :

ويقيس ذلك الاختبار تشغيلية الخرسانة عن طريق معرفة الشغل اللازم لتحويل شكل الخرسانة من مخروط إلى اسطوانة عن طريق رجات ترددية (ارتفاع الرجه 6.3 مم) للعينة. ويستخدم لذلك الاختبار اسطوانة خاصة بهذا الاختبار وشكلها كما هو موضح بشكل (3ـ10).



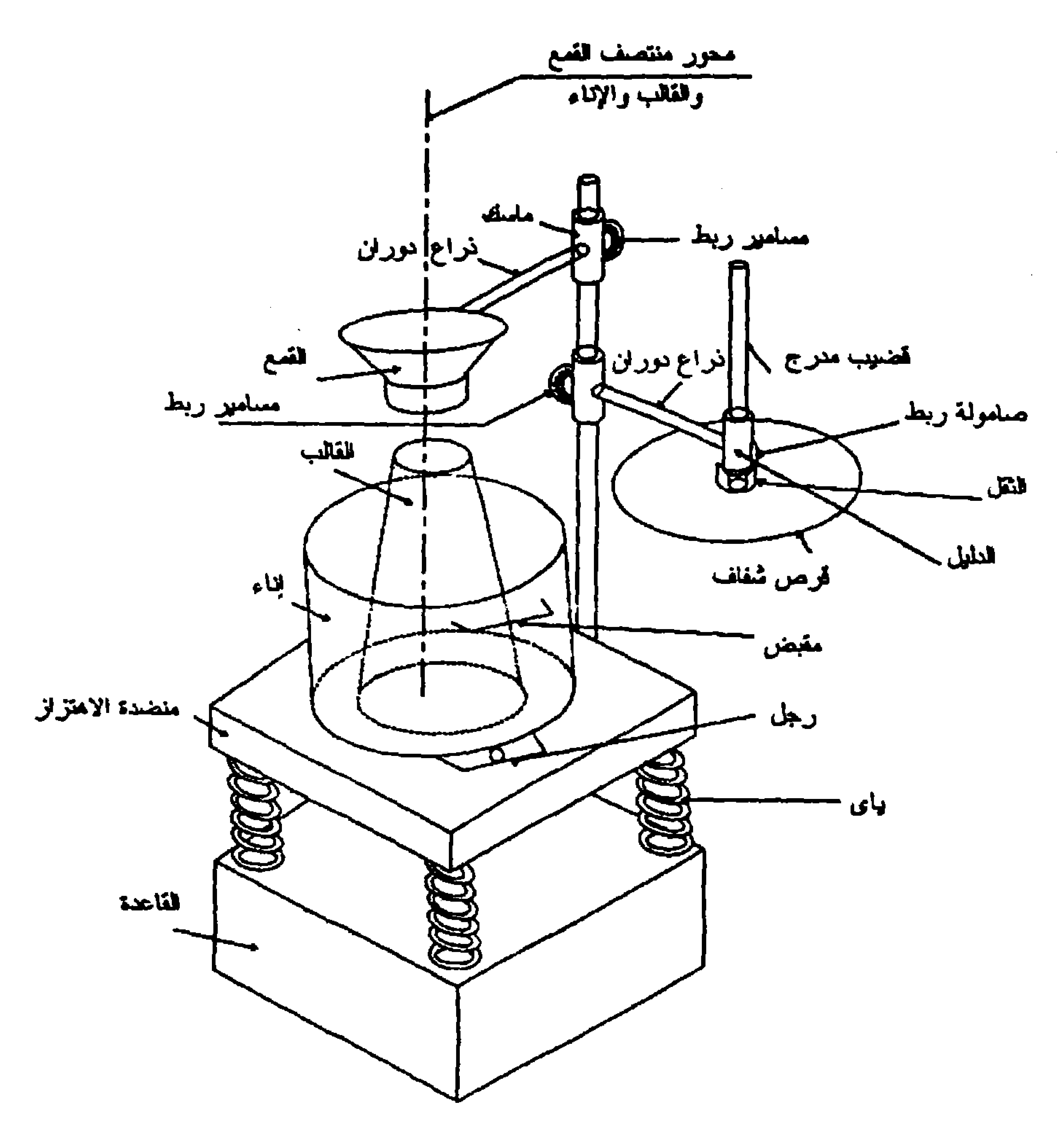
شكل (3ـ10) اختبار اعادة التشكل

ـ *خطوات الاختبار:*

1. يوضع مخروط للهبوط في اسطوانة الجهاز، كما هو موضح بالشكل.
2. يُملأ المخروط بالطريقة القياسية.
3. يرفع المخروط ، ويوضع فوق الخرسانة لوح زجاجي يزن مع القضيب الحامل له حوالى 2 كجم .
4. تُرَج منضدة الجهاز بمعدل رجة كل ثانية ، حتى ينخفض اللوح الزجاجي فوق لوح القاعده حوالى 8.1 سم ، وهنا يقال أن المخروط تحول إلى اسطوانة ، ويقاس الجهد بعدد الرجات اللازمة لذلك . وكلما كان عدد الرجات كبير، دل على أن الخرسانة جافة ، والعكس صحيح و بذلك يتم الحكم على التشغيلية بعدد الرجات.

جـ - اختبار في بي Ve-Be Test :

ويشبه اختبار (في بي) إلى حد ما اختبار إعادة التشكل ، مع تغير اسطوانة جهاز إعادة التشكل إلى اسطوانة عادية ، مع الاحتفاظ بمخروط الهبوط كما هو. وهنا في هذا الاختبار يقال أن المخروط تحول إلى اسطوانة عندما يغطى اللوح الزجاجي الخرسانة تماماً، شكل (3ـ11).



شكل (3ـ11) اختبار في بي

ـ خطوات الاختبار:

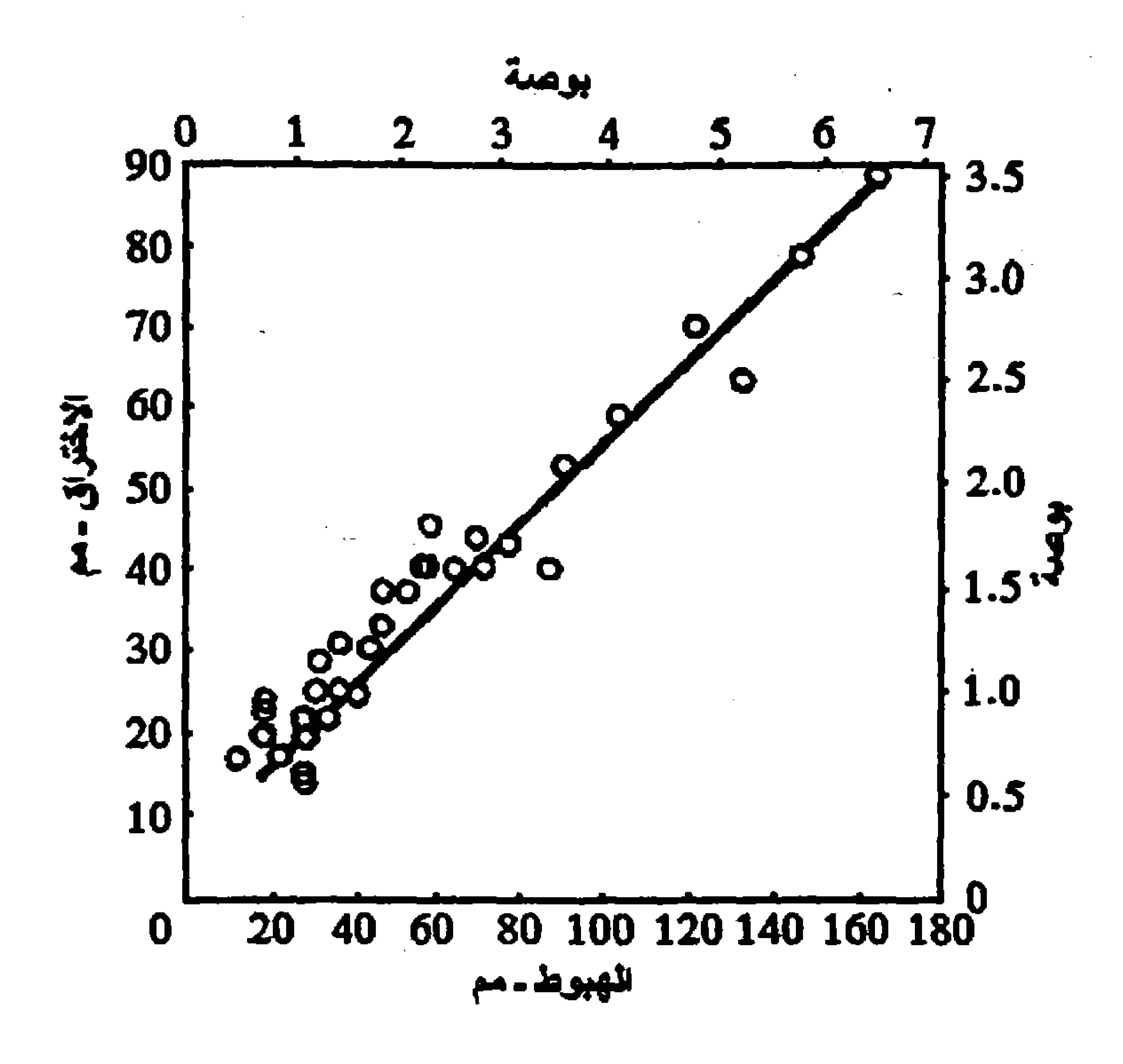
1. يوضع مخروط الهبوط في الاسطوانة كما بالشكل، ويملأ بالطريقة القياسية على 3 طبقات تدمك كل طبقة 25 دمكة.
2. يرفع المخروط ويجب أن يهبط هبوط صحيح ولايحدث به قص أو يلامس الاسطوانة ، ويوضع اللوح الشفاف على الخرسانة ويترك حراً ، ويتم تشغيل منضدة الاهتزاز،

ونحسب زمن الهز اللازم حتى تغطية السطح السفلى للوح الشفاف بمونة الأسمنت. وتقاس التشغيلية بالزمن اللازم لتحويل المخروط إلى اسطوانة عند اللحظة السابقة.

وتعتبر هذه الطريقة أفضل الطرق المستخدمة فى قياس تشغيلية الخرسانات الجافة ويعتبر غير مناسب للخلطات التى تعطى زمن فى بى أقل من 5 ثوانى.

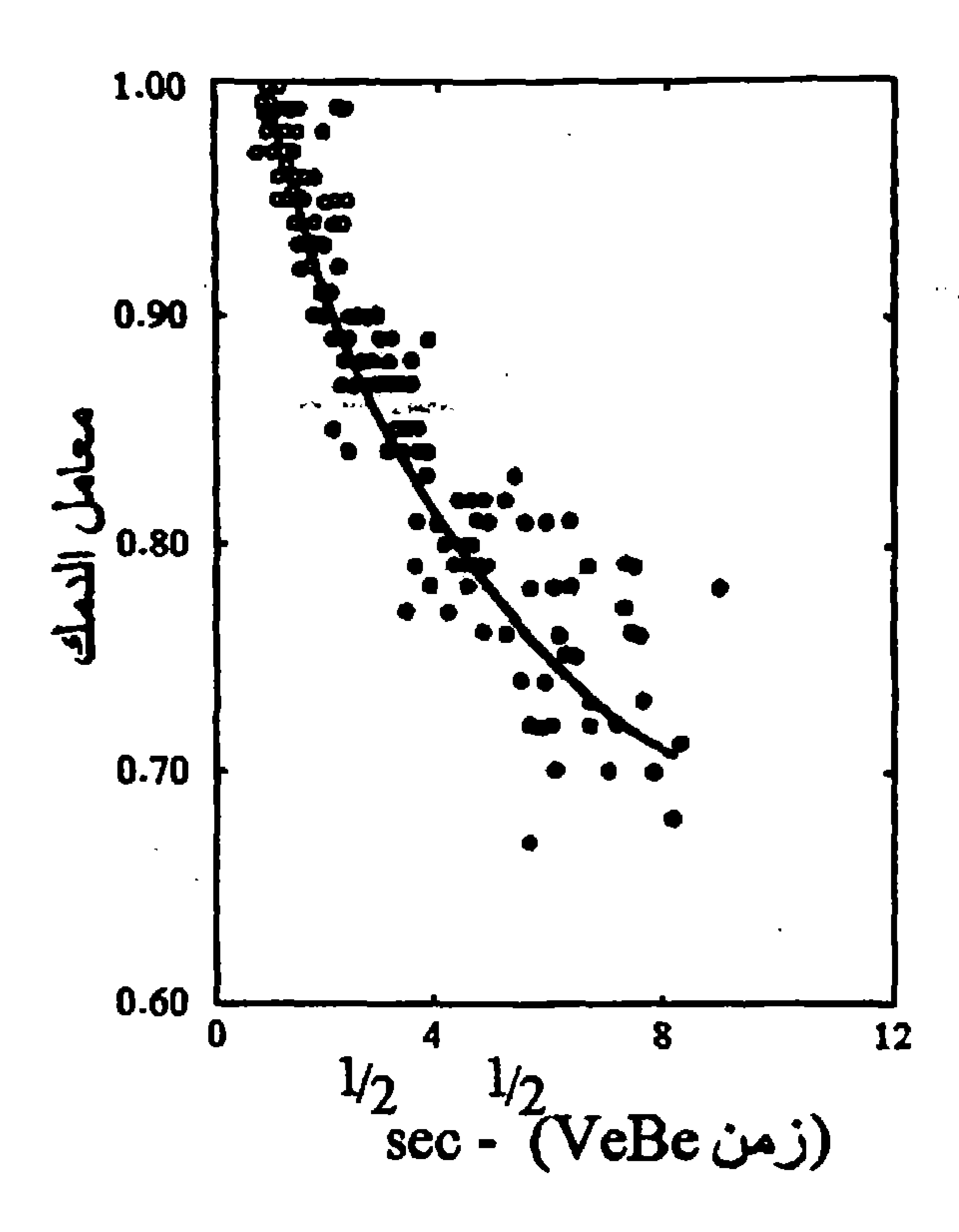
د - العلاقة بين نتائج الاختبارات المختلفة:

شكل (3ـ12) يوضح العلاقة بين نتائج اختبار الهبوط و نتائج اختبار كرة كيللى و الذى تم إجراؤهما على نفس الخرسانة.



شكل (3ـ12) العلاقة بين الهبوط و مسافة الاختراق لكرة كيللى

وشكل (3ـ13) يوضح العلاقة بين اختبار فى بى و اختبار معامل الدمك و الذى تم إجراؤهما على نفس الخرسانة.



شكل (3-13) العلاقة بين زمن فى بى و معامل الدمك

3ـ4 الهواء المحبوس Air Entrained:

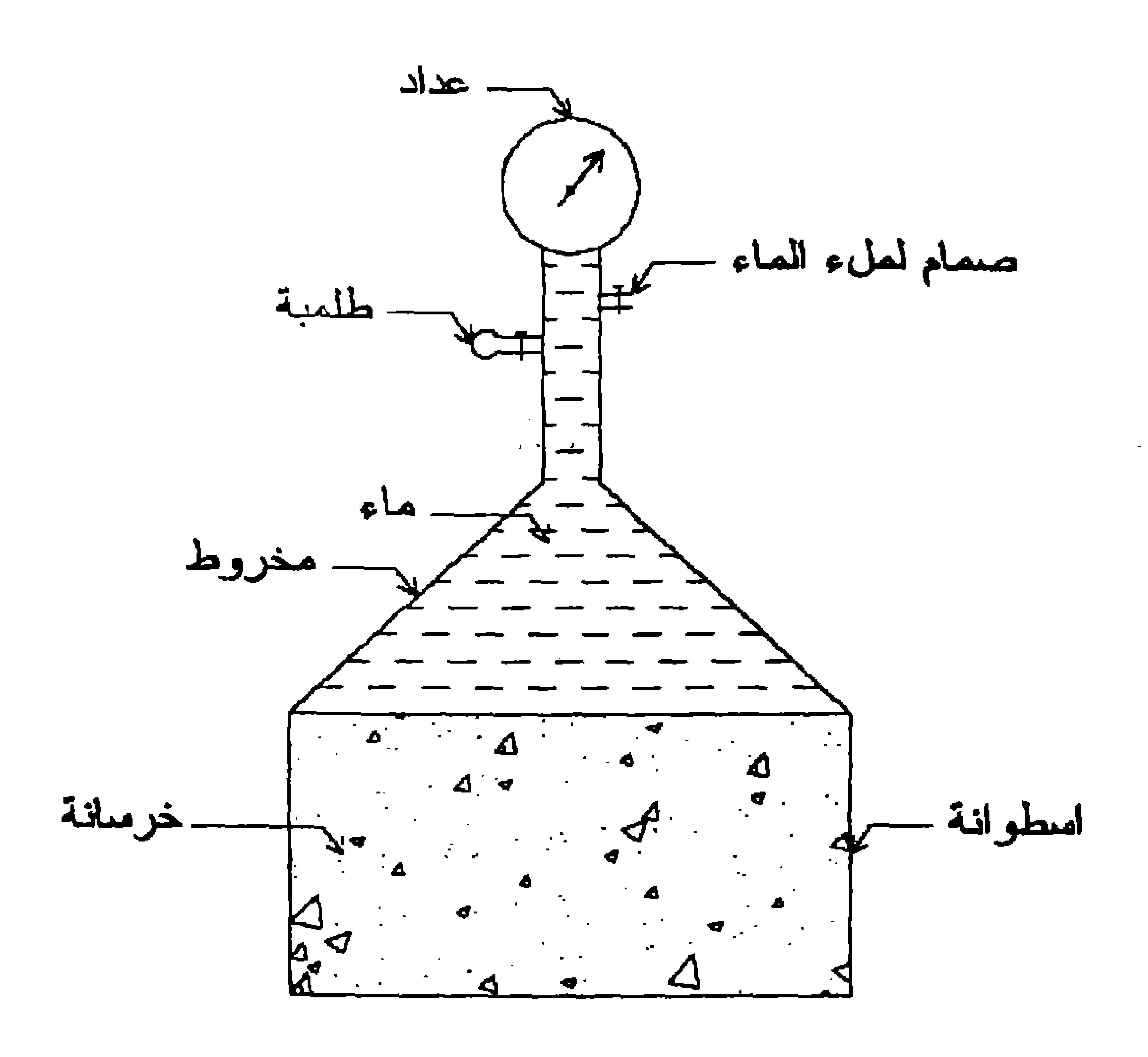
بعد صب الخرسانة ودمكها يتبقى جزء من حبيبات الهواء محصور داخل الخرسانة، ويطلق على الهواء فى تلك الحالة بالهواء المحبوس عرضاً. أما فى أوروبا والمناطق التى تتعرض للصقيع، ونظراً لتعرض الخرسانة لعملية الصقيع حيث يتعرض الماء الموجود داخل الخرسانة للتثلج ، فيزيد حجم الماء ويولد ضغط على الخرسانة ثم يذوب الثلج، وتتكرر عملية التثلج وذوبانه، مما قد يعرض المنشآت للتدهور وظهور شروخ بها، ولذلك يتم إنتاج خرسانة ذات هواء محبوس تتراوح نسبته بين 4 و 8.5%. وتتوقف نسبة الهواء المحبوس أساساً على المقاس الاعتبارى الأكبر للركام، فكلما صغر المقاس الاعتبارى، زادت نسبة الهواء المحبوس التى تستطيع الخرسانة احتواءها.

3ـ4ـ1 ثثرة اختبار تحديد محتوى الهواء المحبوس بطريقة الضغط:

Air Content of Concrete Using Pressure Method:

يحدد هذا الإختبار محتوى الهواء المحبوس فى خلطة خرسانية غير مستخدم فيها ركام خفيف أو بها نسبة مسام عالية.

تُملأ الاسطوانة بالخرسانة الطازجة وتدمك قياسياً، ثم يملأ المخروط بالماء ثم يعرض لضغط قياسى، ثم نقرأ الهواء المحبوس من على العداد، اظر شكل (3ـ14).



شكل (3-14) تحديد نسبة الهواء المحبوس

3-4-2 تأثير الهواء المحبوس على خواص الخرسانة الطازجة:

يلاحظ أن قطر حبيبات الهواء المحبوس أصغر من قطر حبيبات الأسمنت؛ مما يجعل حبيبات الهواء تنتشر بين مكونات الخرسانة مقللة قوى الاحتكاك بين مكونات الركام، لذلك فإن وجود الهواء المحبوس يحسن من تشغيلية وزيادة هبوط (Slump) الخرسانة، ويقلل من حدوث النزيف والانفصال ويقلل من كثافة الخرسانة .

3-5 زمن التصلب Stiffening time

سبق أن ذكرنا أن الخرسانه تفقد لدونتها مع الزمن ، وعندما تفقد الخرسانة لدونتها تماماً يقال أنها تصلدت ابتدائيا ، وعندما تتصلب الخرسانة وتستطيع تحمل اجهادات ضغط قليله يقال أنها تصلبت نهائياً ، وفى هذا الكتاب سيتم استخدام لفظ التصلب للتفرقه بينه وبين شك الأسمنت ، ويتراوح زمن التصلب الإبتدائى بين ساعتين وأربعة ساعات ، ويتراوح زمن التصلب النهائى بين 5 ، 8 ساعات ويتأثر هذا الزمن بحرارة ورطوبة الجو ، ووجود اضافات مؤجله أم معجله ويتأثر كذلك بقيمة هبوط الخرسانه . فكلما زادت درجة الحراره وقلت الرطوبه النسبيه ، وقل الهبوط ، واستخدمت المواد المعجله يقل زمن التصلب ، وإذا استخدمت المواد المؤجله يزيد زمن الشك ، ويتم تعريف زمن التصلد وتحديده عملياً كما يلى:

3-5-1 تعريف زمن التصلب الإبتدائى والنهائى .

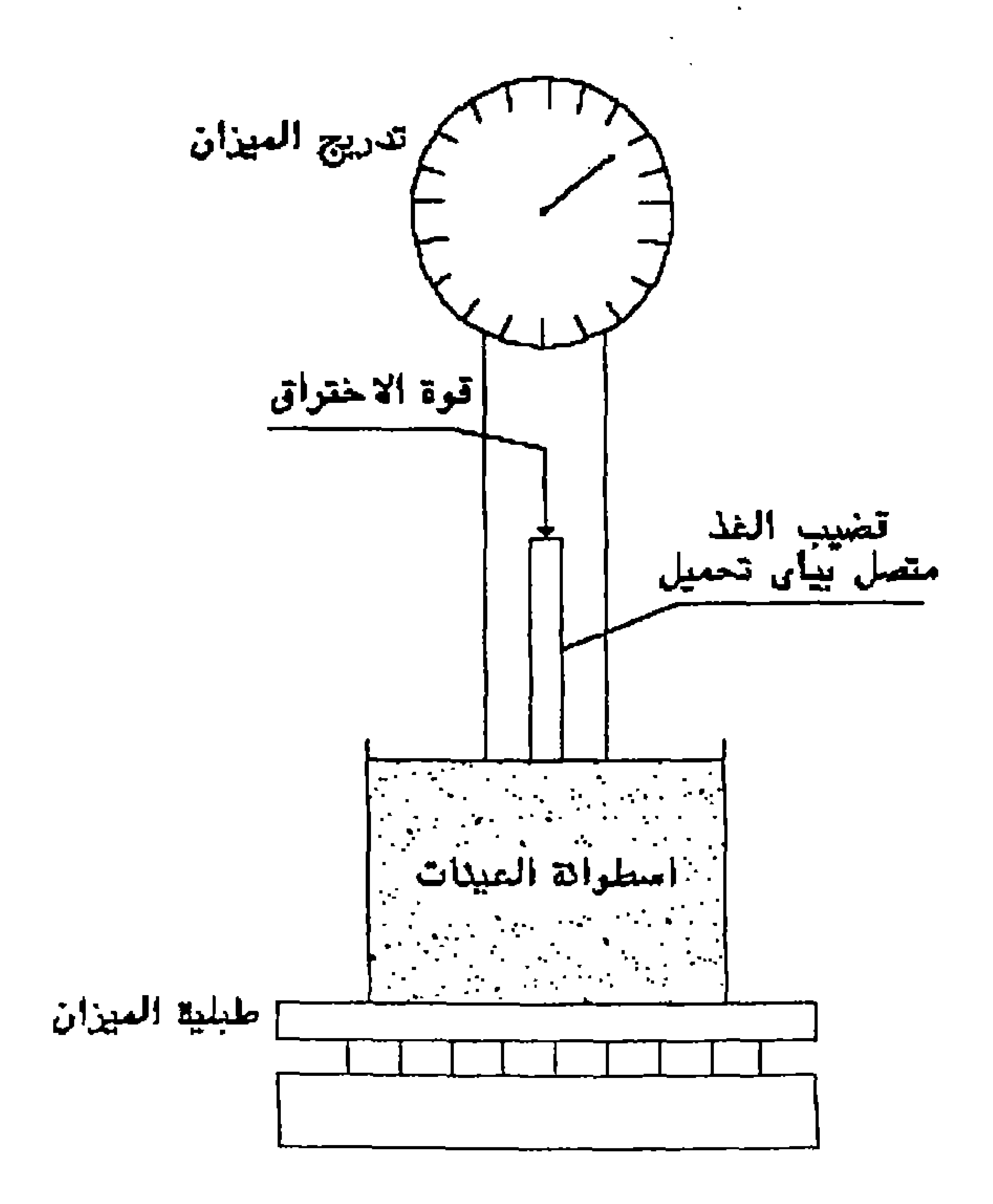
– زمن الشك الإبتدائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء للخرسانة القياسيه وحتى اللحظه التى يكون عندها إجهاد الإختراق لقضيب قياسى = 3.5 ن/مم^2 .

ــ زمن الشك النهائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء للخرسانة القياسيه وحتى اللحظــه التى يكون عندها إجهاد الإختراق لقضيب قياسى = 27.6 ن/مم^2 .

3-5-2 إختبار مقاومة الإختراق لتعيين زمن شك الخرسانة

Test Method for Determination of Concrete Setting Time by penetration Resistance

ــ تستخدم تلك الطريقه لتحديد زمن التصلب الإبتدائى والنهائى للخرسانة وهو يختلف عــن شك الأسمنت ويجب إستخدام مونه الخرسانة بعد إستبعاد الركام الأكبر من 16/3" .
ــ يستخدم جهاز الإختراق والذى يتكون من قضيب إختراق معدنى اسطوانى (قضيب الغــز) مساحة مقطعه يتراوح بين 16 الى 645 مم2 ويوجد حز دائرى على بعد 25 مم من نهايــة قضيب الإختراق وهذا القضيب يتصل بياى ، ويوجد ميزان لقياس القوة التى يقابلها القضيب عند إختراقه للمونه الخرسانية الموضوعه فى وعاء إسطوانى (قطره وإرتفاعه لايقــل عــن 152 مم) . وشكل (3-15) يوضح رسم تخطيطى لجهاز الإختراق لتحديد زمن التصلب



شكل (3-15) شكل تخطيطى يوضح جهاز الإختراق لتحديد زمن التصلب

ــ يتم خنط الخرسانه وتنخل الخرسانه على منخل 16/3" .
ــ الخرسانه الماره من منخل 16/3" يتم خلطها جيداً وتملأ بها ثلاث أوعيه .
ــ تترك الأوعيه لمـ تراوح بين ساعه أوساعتين للخلطات سريعة الشك وأربع ســاعات خلطات بطيئة الشك (الأجواء البارده) مع تغطيتها .

ـ يوضع الوعاء على الميزان ونضغط بواسطة جهاز الإختراق على قضيب الإختراق ليخترق القضيب المونه لمسافة 25 مم ونحدد قوة الإختراق على الميزان .

ـ يتم تكرار الخطوه السابقه كل نصف ساعه وترسم العلاقه بين اجهاد الإختراق الذى يساوي $\frac{\text{قوة الإختراق}}{\text{مساحة قضيب الإختراق}}$ والزمن

ـ حدد زمن الشك الإبتدائى والنهائى من التعريف التالى .

ـ زمن الشك الإبتدائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء وحتى اللحظه التى يكون إجهاد الإختراق 3.5 ن/مم2 .

ـ زمن الشك النهائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء وحتى اللحظه التى يكون إجهاد الإختراق 27.6 ن/مم2 .

3-6 التعامل مع الخلطات الخرسانية :

3 ـ6ـ 1 مقدمة :

يحتاج المهندسون معرفة طريقة لحساب الكميات اللازمة من مكونات الخرسانة التى تلائم صب منشأ معين ، ومما هو جدير بالذكر أن هناك خلاطات حجميه وأخرى وزنيه ، ويقوم المهندس بحصر حجم المنشأ الذى سيتم صبة بالخرسانه ، وعن طريق تصميم الخلطة يستطيع المهندس حساب كميات الركام والأسمنت والماء والإضافه ، وسنتناول أسس التعامل مع الخلطات الخرسانية والتعرف على بعض التعاريف التى سيتم استخدامها .

3 ـ6 ـ 2 الحصيله (ح) Yield

ويقصد بها حجم الخرسانة الناتجه من استخدام شيكارة أسمنت وما يناسبها من المكونات الأخرى، فعندما نقول أن الحصيله 0.15 م^3 فمعنى هذا أن استخدام شيكارة أسمنت وما يناسبها من الركام والماء ينتج 0.15 م3 خرسانه طازجه ، ويعنى ذلك أننا عندما نريد انتاج 1م3 فإننا فى حاجه لإستخدام 0.15/1 = 6.66 شيكارة أسمنت أى (333 كجم اسمنت) .

3 ـ6 ـ 3 معامل الأسمنت (م) Cement Factor

ويقصد به عدد الشكائر الأسمنتيه اللآزمه ومايناسبها من مكونات لإنتاج 1م3 من الخرسانة الطازجه وتكون قيمة : م = 1/ح

3 ـ6 ـ 4 وحدة وزن الخرسانة γ Unit weight .

ويقصد به وزن الأسمنت والرمل والركام الكبير والماء والإضافه اللازمة لإنتاج متر مكعب من الخرسانة الطازجه ، أى أن وحدة الوزن = وزن مكونات الخرسانه مقسوماً على حجم معين من الخرسانة الطازجه بما بداخلها من الهواء المحبوس .

3 ـ6 ـ 5 معادلة الحجم المطلق Absolute Volume equation .

يلاحظ أن الركام والأسمنت قبل اضافته للخلطة يحتوى بين حبيباته على فراغات . اذا درس أحد المهندسين حجم معين من الخرسانه الطازجه ، بعد صبها فى أحد الأعمده ، بعد دمكها بالهزازات ، فسنجد أن هذا الحجم يحتوى على حجم معين من الركام الكبير ، وحجم معين من الرمل والأسمنت والماء والإضافه . ولايمكن أن يقال أن حجم الفراغات تساوى حجم

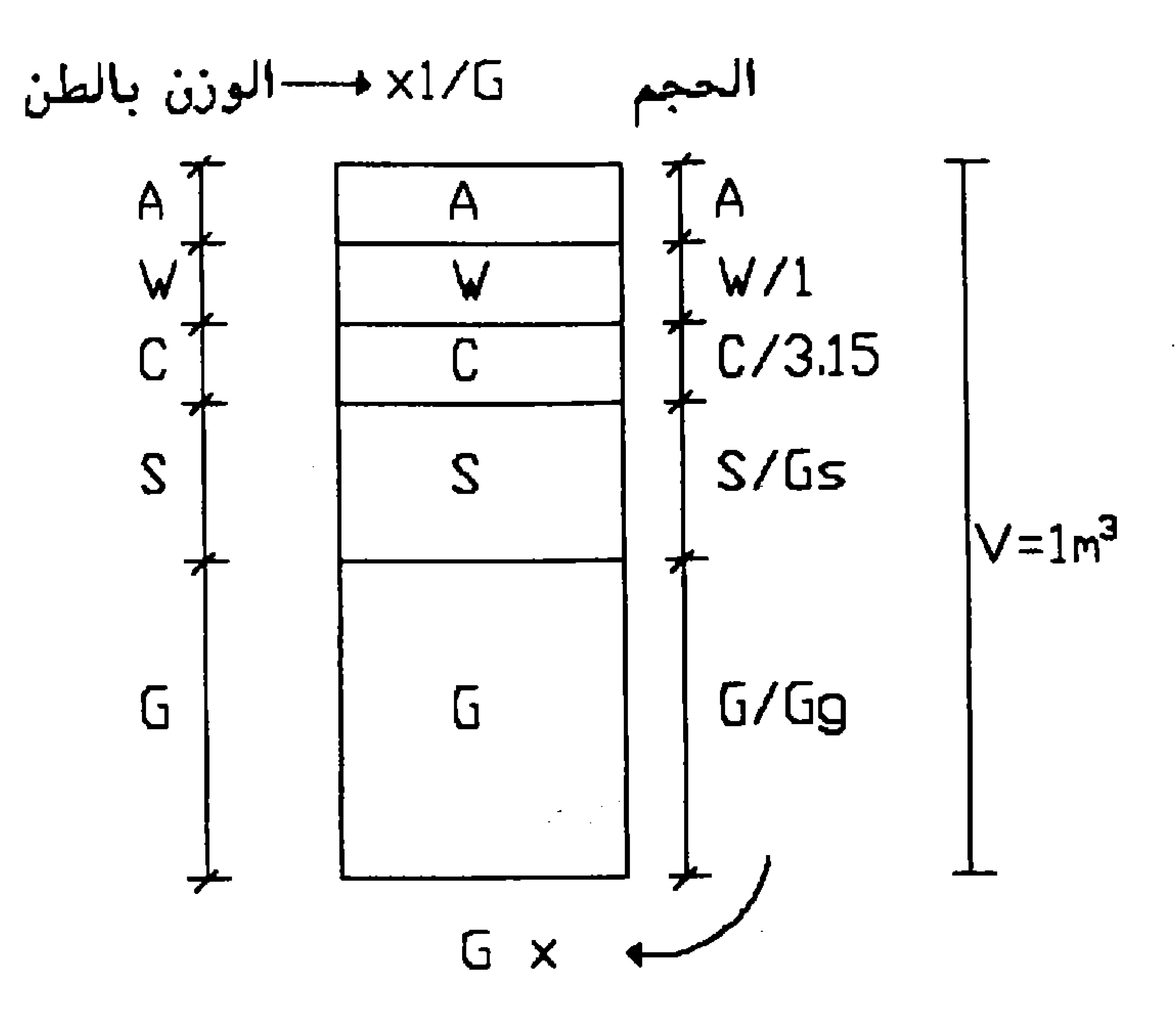
الفراغات بين حبيبات الركام الكبير وبين حبيبات الرمل وبين حبيبات الأسمنت . من الأكيد أن الرمل يقوم بملأ الفراغات بين حبيبات الركام الكبير ويقوم الأسمنت بالتغلغل والإستقرار على حبيبات الركام وفى الفراغات بين حبيبات الرمل ، ويقوم الماء بدور هام فى تحقيق اللدونــه الكافية لحركه مكونات الخرسانه ، لإحداث التداخل ومع وجود الدمك الخارجى تقــل نــسبة الفراغات ويتبقى جزء ضئيل يتراوح بين صفر ، 3% من حجم الخرسانه يملئه الهواء ونطلق علية الهواء المحبوس ، فإذا كانت التشغيليه عالية والدمك كامل وتم استخدام مواد بوزولانيــه (لملأ الفراغات الصغيره جداً) تقترب نسبة الهواء المحبوس من الصفر .
وللتعامل مع الخلطات الخرسانية نستخدم معادلة الحجم المطلق والتى تحتاج لبعض الفروض وهى :

1 ــ حجم الخرسانة = الحجوم الصلبه للمكونات (بدون فراغــات) مــضاف اليــه الهــواء المحبوس .

2 ــ الركام غير قابل لإمتصاص الماء ولايستطيع اعطاء ماء الى باقى المكونات لذلك نفرض أن الركام مشبع تماماً من الداخل وسطحه جاف .
ومعادلة الحجم المطلق كما يلى :

$$\frac{C}{3.15}+\frac{W}{1}+\frac{S}{G_s}+\frac{G}{G_g}+\frac{Ad}{G_d}+A=1m^3$$

حيث C = محتوى الأسمنت بالطن .
W = محتوى الماء بالطن .
S = محتوى الرمل بالطن .
G = محتوى الركام الكبير بالطن .
Ad = محتوى الإضافه بالطن.
A = الهواء المحبوس .
G_s = الوزن النوعى للرمل .
G_g = الوزن النوعى للركام الكبير
G_d = الوزن النوعى للإضافه .
ويلاحظ أن 3.15 هى الوزن النوعى للأسمنت .
ويمكن تمثيل هذه المعادلة بالمخطط التالى :



ومما هو جدير بالذكر أن بعض دول العالم تستخدم الياردة المكعبه (0.76 م3) .
وبعض المراجع تهمل حجم الإضافات وهذا الفرض يمكن استخدامه فى الإضافات الكيميائية ذات المحتوى الصغير فقط حيث يتم حالياً استخدام غبار السليكا بمحتويات عالية لايمكن اهمالها. ومعادلة الحجم المطلق لايمكن استخدامها فى خرسانة الركام الخفيف .

3 ـ 6 ـ 6 التعامل مع الخلطات الخرسانيه ذات النسب الوزنيه :

خلطة خرسانيه تتكون من النسب الوزنية التاليه .

أسمنت	:	رمل	:	زلط	:	ماء
1	:	2	:	4	:	0.5

ـ احسب الحصيله ومعامل الأسمنت ووحدة الوزن واحسب الكميات اللآزمه لصب سقف حجمه 100م^3 اذا علم أن الوزن النوعى للزلط والرمل 2.68 و2.65 على الترتيب ووحدة الوزن لهما 1.6 ، 1.75 طن/م^3 ونفرض أن الهواء المحبوس 2% . احسب الكميات اللازمة لتشغيل خلاطة وزنيه سعتها 1.5 م^3 للنسب الوزنية السابقه لايستطيع أحد أن يحدد حجم الخرسانه الناتجه .

الحل : حيث أن الحصيله(ح) تحسب للشيكاره الواحده فسوف نحل المسأله على شيكاره من الأسمنت واحده فتكون الأوزان بالطن كمايلى :

أسمنت	:	رمل	:	زلط	:	ماء
0.05	:	0.10	:	0.20	:	0.025

ـ وهذه الكميات سوف تنتج حجم خرسانة طازجه (V) م3

$$\therefore \frac{0.05}{3.15}+\frac{0.025}{1}+\frac{0.10}{2.65}+\frac{0.20}{2.68}+0.02V$$

$$0.153 = 0.98V \qquad \therefore V = 156m^3$$

وبهذا تكون الحصيله (ح) = 0.156 م^3

ومعامل الأسمنت (م) = 1/ح = 6.41 شيكاره (320.5 كجم) .

ـ فتكون الكميات اللازمه للأسمنت = 0.3205 طن ، الماء (0.025×6.41 لإنتـاج 1م^3 = 0.160 طن) ، الرمل (0.641طن) ، الزلط = (0.20 × 6.41= 1.282 طن) .

وحدة وزن الخرسانة = (0.32 + 0.16 + 0.641 + 1.282) = 2.403 طن/ م^3

ومما هو جدير بالذكر أن وحدة وزن خرسانة الحجر الجيرى تتـروح بـين (2.33 ، 2.39 طن/م^3) ولخرســانة الــزلط بـين (2.39 ، 2.43 طــن/م^3) وللــدولوميت بــين (2.41 ، 2.45طن/م^3) ويتوقف ذلك على نوع الركام ومحتوى الأسمنت وهبوط الخرسانه والدمك .

ـ مواد السقف لإنتاج 100م^3 خرسانه كما يلى .

وزن الأسمنت = 32 طن .

حجم الرمل = 0.641×100 / وحدة الوزن (1.75) ≅ 37 م^3.

حجم الرمل = 100 × 1.282 / 1.60 = 80م^3.

حجم الماء = 16م^3

ـ الكميات اللازمه لتشغيل المحطة المركزيه :

وزن الأسمنت 0.48 طن ، وزن الماء = 0.24 طن ، وزن الرمل 0.962 طن ، وزن الزلط = 1.923 طن

3 ـ 6 ـ 7 التعامل مع الخلاطات الحجميه .

خلطة تتكون من النسب الحجمية التاليه :

0.8 م3 للزلط ، 0.36 م^3 رمل ، 0.340 طن أسمنت ، 190 لتر ماء ونسبة الهواء 1.5 %

ـ احسب حصيلة الخلطة السابقه بإستخدام خواص الركام السابق ، واحسب الكيات اللازمـة لتشغيل خلاطة حجمية 0.40 م^3 .

تحول الحجوم الى أوزان بإستخدام وحدات الوزن وبالتطبيق فى معادلة الحجم المطلق .

$$\frac{0.34}{3.15}+\frac{0.19}{1}+\frac{1.75*0.36}{2.65}+\frac{1.6*0.8}{2.68}+0.015V=V$$

$$1.013=0.985V$$

$$\therefore V=1.03m3$$

ـ وهذا يعنى أن استخدام 0.05/0.34 (6.8 شيكارة أسمنت) تنتج 1.03م^3 خرسانه .

ح = 1.03 / 6.8 = 0.151 م^3

م = 1/ 0.151 = 6.62

ـ حجوم المواد التى تنتج متر مكعب خرسانة = V / 1.03

حجم الزلط = 0.8 / 1.03 = 0.777 متر مكعب .

حجم الرمل = 0.36 / 1.03 = 0.35 متر مكعب .

وزن الأسمنت = 0.34 / 1.03 = 0.33 طن .

وزن الماء = 185 لتر .

ـ يتم حساب الكميات اللازمه لتشغيل الخلاطة بضرب حجوم المواد لإنتاج متر مكعب × 140 (سعة الخلاطه)

3 ـ 7 قياس وحدة وزن الخرسانة عملياً وأخذ عينات الخرسانه الطازجة :

3 ـ 7 - 1 علم

يجب بعد تصميم الخلطه تنفيذ خلطة خرسانه وقياس وحدة وزن الخرسانه للتحقق من وحدة وزن الخرسانة الناتجه من التصميم وقد يحدث فرق ينتج عن اختلاف الأوزان النوعيه في التجربة عن القيم الحقيقيه وقد يحدث نتيجة الدمك وغيرها . ويتم تحديد وحدة وزن الخرسانه لتصحيح الشدات للخرسانه وسنتناول في مايلى كيفية أخذ عينات الخرسانة الطازجه وكيفية تحديد وحدة وزن الخرسانه .

3 -7 - 2 طريقة أخذ عينات الخرسانة الطازجة بالموقع

Method of sampling of fresh concrete on site

مواصفة قياسية مصرية 1658 / 1988

يتم أخذ عينة الخرسانة من الجزء الأوسط من الخلاطة الحجمية أو مـن العربـه الناقلـه للخرسانه بحيث يستبعد الجزءالأول والأخير وتؤخذ العينه بجاروف الغرفه الواحده منه حوالى 5 كجم وتوضع العينه في وعاء قياسي من مادة لاتصدأ لايقل سعته عن 9 لتر والعينه تكـون بحجم يكفى صب العينات المطلوبه ويجب تقليب الخرسانة ثلاث مرات وفى كـل مـره يـتم تجميع الخرسانة على هيئة مخروط ويتم عمل تقرير أخذ العينه به جميع بيانات الخرسانة

3 ـ 7 ـ 3 إختبار تعيين كثافة (وحدة الوزن) الخرسانة الطازجه

Test Method to Determine the Unit weight of Fresh Concrete

ـ يستخدم هذا الإختبار لتحديد وحدة الوزن الطازجه المدموكه لخرسانة المقـاس الأكبـر للركام لايزيد عن 40 مم وتحدد تلك الكثافه لمقارنتها بكثافة الخرسانة التـصميميه للخلطـة لنتحقق من تطابقهما أو يتم تعديل المكونات .

ـ يتم أخذ عينة من الخرسانة الطازجه بالطريقه القياسيه المذكوره سابقاً.

ـ يتم ملأ إناء معدنى قياسى يفضل أن يكون حجمة 0.01 م^3 .

ـ يتم تحديد حجم الإناء بملأه بالماء فيكون الحجم = وزن الماء المضاف .

ـ يملأ الإناء على 6 طبقات وتدمك كل طبقه دمك قياسى 60 دمكه أو يستخدم منضده هز لدمك الخرسانة .

ـ وحدة وزن الخرسانة = (وزن الإناء وبه الخرسانة مدموكه – وزن الإناء فارغ) / حجم الإناء

الباب الرابع
صناعة الخرسانة(Concrete Manufacture)

4ـ1 مقدمة:

تتكون الخرسانة من مادة لاحمة ومادة خاملة، وتتكون المادة اللاحمة من ناتج تفاعل الأسمنت والماء، وقد تكون مادة بوليمرية لتسمى الخرسانة في هذه الحالة Polymer Concrete، أمّا المادة الخاملة فيمثّلها الركام، ويشغل الركام الكبير والصغير حوالى $\frac{3}{4}$ حجم الخرسانة .

وتمر الخرسانة بمراحل رئيسية خلال عمرها؛ وهى مرحلة الخرسانة الطازجة ومرحلة الخرسانة الخضراء ومرحلة الخرسانة المتصلدة، ويجب أن تحقق الخرسانة فى هذه المراحل التشغيلية المطلوبة ومقاومة ضغط معينة تناسب نوع المنشأ، ويجب أن تكون الخرسانة أيضاً مقاومة للظروف المحيطة لها مما يعرف بالتحملية، وسنذكر فيما يلى خطوات صناعة الخرسانة.

4ـ2 مرحلة الإعداد والتجهيز:

وتمر هذه المرحلة بمرحلتين أساسيتين؛ وهما تجهيز المواد واختبارها وتجهيز الفرم والشدّات الملائمة للمنشأ.

4ـ2ـ1 اختيار المواد واختبارها:

أ ـ الأسمنت:

يحدَّد نوع الأسمنت طبقاً لنوع المنشأ وطريقة التشييد والظروف المحيطة، ويجب حفظه فى الموقع بطريقة صحيحة بعيداً عن الماء أو الرطوبة، وإذا خزّن لفترة أكثر من شهر يجب إجراء الاختبارات القياسية عليه مرة أخرى قبل الاستخدام للتأكد من صلاحيته للاستخدام مرة أخرى، ويجب ألا تزيد درجة حرارته عن 45 درجة مئوية إذا لم تتخذ احتياطات خاصة عند الصّب، أو 75 درجة مئوية عند اتخاذ إجراءات خاصة لخفض درجة حرارة الخرسانة، ويجب ألا يستخدم فى أعمال الخرسانة المسلحة أى أسمنت بدأت تتكون فيه حبيبات متصلدة أو مضى على تشوينه أكثر من ستة شهور.

ب ـ الركام:

يحدَّد نوع الركام المستخدَم تبعاً لعوامل عديدة؛ أهمها مكان المحاجر وبعدها عن الموقع ونوع المنشأ، ويُختار الركام الكبير بحيث يكون المقاس الاعتبارى الأكبر $\frac{1}{3}$ أقل بعد للمنشأ، ولا يزيد عن $\frac{2}{3}$ ـ $\frac{4}{3}$ المسافة الخالصة بين حديد التسليح، والرمال المستخدمة لابد أن تكون خشنة ومتدرجة، ويفضل عمل مظلات وخاصة في المناطق الحارة لحفظ الركام من الأمطار وأشعة الشمس المباشرة والحرارة، ويجب أن يكون الركام خالى من المواد الضعيفة والضارة ويكون غير قابل للتفاعل مع قلويات الأسمنت.

جـ ـ الماء:

يجب أن يكون الماء نظيف وخالى من المواد الغريبة العالقة والمواد الكيميائية، ويجب ألا تزيد نسب الأملاح الكيميائية مثل الكبريتات والكلوريدات عن القيم المسموح بها فى ماء الخلط الواردة فى كود الخرسانة، والمذكورة فيما يلي:

- 2.00 جرام فى اللتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S).
- 0.50 جرام فى اللتر من أملاح الكلوريدات على هيئة Cl^-.
- 0.30 جرام فى اللتر من أملاح الكبريتات على هيئة SO_3.
- 1.00 جرام فى اللتر من أملاح الكربونات والبيكربونات.
- 0.10 جرام فى اللتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.
- 0.20 جرام فى اللتر من المواد العضوية.
- 2.00 جرام فى اللتر من المواد غير العضوية وهى الطين والمواد العالقة.

4ـ2ـ2 إعداد الفرم والشدات:

قد تكون الفرم المستخدمة مصنوعة من الأخشاب الطرية أو الصلبة أو أخشاب الأبلكاج أو الشدات المعدنية، وقد تكون شدات على هيئة بواكى صغيرة أو كبيرة مثل الـشدات النفقيـة، ويجب أن يتوافر فيها ما يلي:

أ- ان تكون قوية لتحمل ضغوط الخرسانة والأحمال الواقعة عليها.

ب- يجب أن تكون محكمة حتى لا تسرب المونة.

ويفضّل رش الشدات الخشبية بالماء قبل الصب حتى لا تمتص الشدات ميـاه الخرسـانة ولغلق آية فواصل بين أجزاء الشدة، ويجب عمل تحديب للشدات فـى حالـة المنـشآت ذات البحور الطويلة عكس اتجاه الترخيم، ففى حالة الكمرات فيكون التحديب $^1\backslash_{400}$ من البحـر إذا زاد البحر عن 8 متر و $^1\backslash_{150}$ من البحر فى حالة الكوابيل الأكبر من 2 متر.

4ـ2ـ3 تجهيز الكميات والعبوات:

فى حالة الخلاطات الحجمية تعمل صناديق للركام بحجم يتوقف علـى سـعة الخلاطـة، ويضاف الماء بإناء معاير، أما الأسمنت فيعايَر بالشيكارة، أما فى حالة الخلاطات الوزنية فيتم وزن المكونات طبقاً لسعة الخلاطة.

4ـ3 مرحلة الخرسانة الطازجة:

وتنقسم خطوات صناعة الخرسانه فى هذه المرحلة إلى مراحل الخلط والنقل والصب ودمـك الخرسانة.

4ـ3ـ1 خلط الخرسانة:

قد يكون خلط الخرسانة يدوى أو ميكانيكى، ولايفضّل الخلط اليدوى، ولكن إذا لزم الأمـر من استخدامه فلابد من اتخاذ الاحتياطات اللازمة، حيث يتم خلط المواد مرتين على الناشـف قبل إضافة المياه بالمحراث، ثم تخلط مرتين على الأقل بعد إضافة الماء. أما الخلط الميكانيكى فيتم فى خلاطات حجمية أو خلاطات مركزية. ويتم الخلط لمدة تتراوح بين 2ـــ5 دقـائق، وتفضل الخلاطات الوزنية عن الحجمية حيث يتحسن ضبط الجودة باستخدامها.

• ***الخلاطات الحجمية Volumetric Mixer:***

ويوجد منها عدة أنواع:

1. خلاطة تدور حول محور رأسي: وتستخدم غالباً فى المعامل.
2. خلاطة نحلة: وهى خلاطة ذات سعة صغيرة تدور حول محور وهذه لا تستخدم فى الأعمال الهامة.
3. خلاطة حجمية ذات سعة كبيرة: تتميز هذه الخلاطة بحلة ذات سعة كبيرة ويقوم المقاول بتجهيز منصة تحميل أمامها.
4. خلاطة ذات قادوس تحميل.

ويجب على المهندس تحويل تصميم الخلطة إلى محتويات حجمية ومثالا كما يلى:

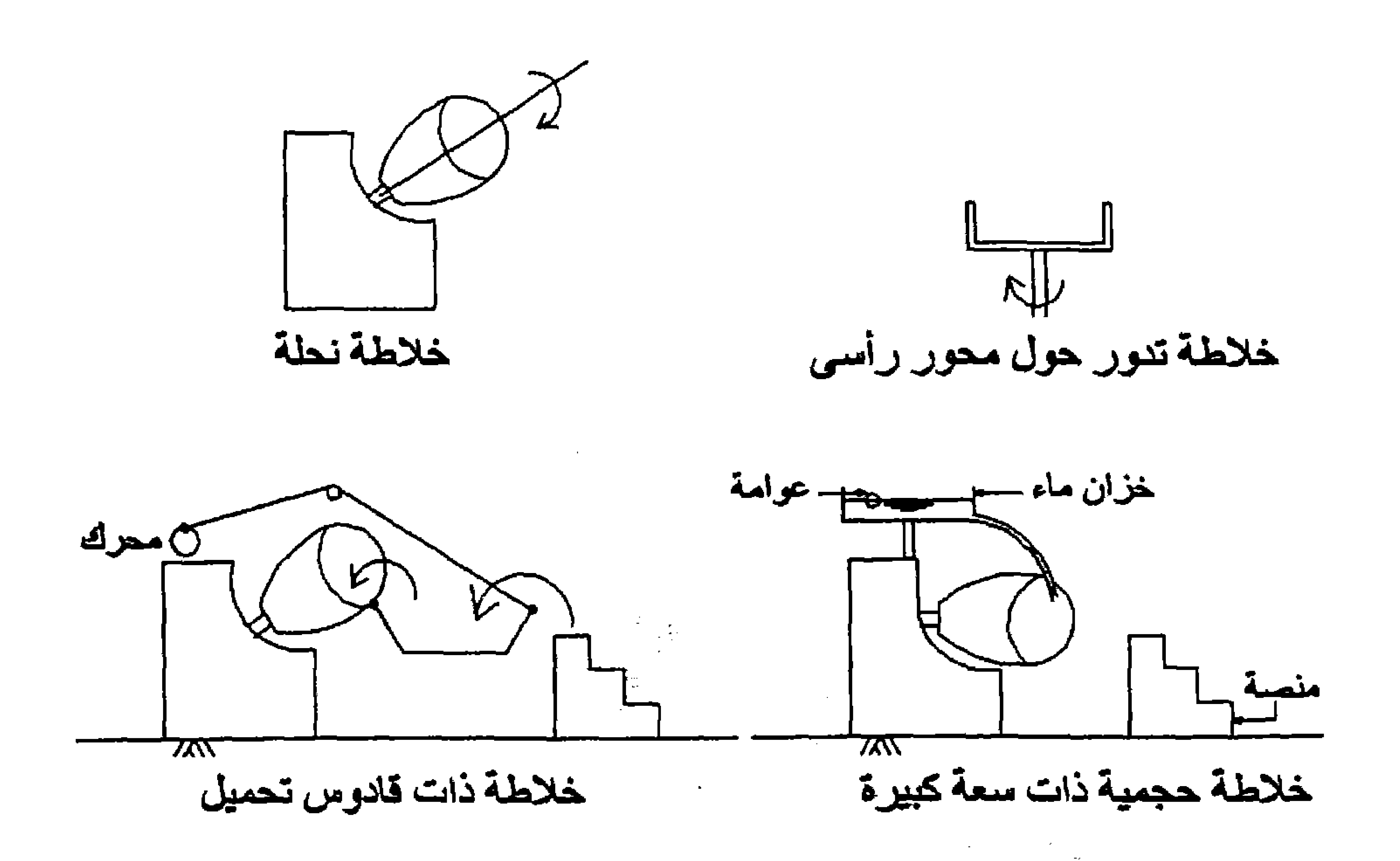
أسمنت	رمل	زلط	ماء
7 شكائر	0.4 م3	0.82 م3	180 لتر

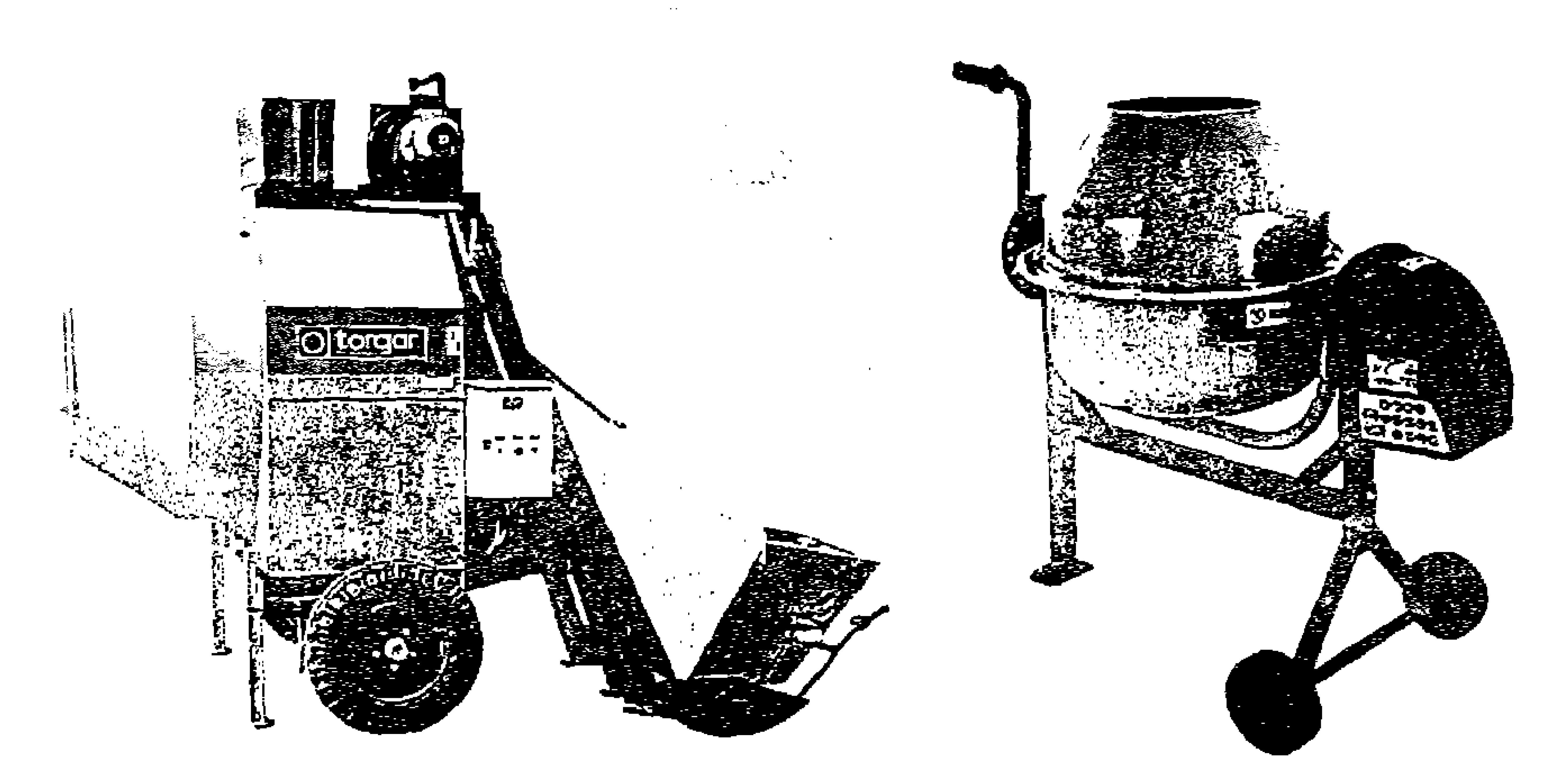
شكل رقم (4ـ1) يحتوى على رسومات توضح الأشكال المختلفة لبعض الخلاطات الحجمية.

• ***الخلاطات الوزنية(Bach plant):***

وتتكون من الأجزاء التالية :

1. الخلاطة و هى المكون الرئيسي
2. برج التحكم: وفيه مجموعة من الموازين، ومزود بوحدة تحكم إلكترونية فى بعض المحطات، ويتصل البرج بالخلاطة بحيث يتم وزن آية كميات من المواد تدخل للخلاطة.
3. صوامع تخزين الأسمنت.
4. خزان ماء.
5. خزان إضافات.
6. أماكن تخزين الرمل وأماكن تخزين الركام الكبير بمقاساته المختلفة.
7. عربات دوارة لنقل الخرسانة للموقع، أو عربات صغيرة غير دوارة.
8. مغذى للركام: وهو عبارة عن حاوية ذات غرف متعددة يوضع فيها الركام باستخدام محمل (Loader) أو سير.
9. سير لنقل الركام للخلاطة.



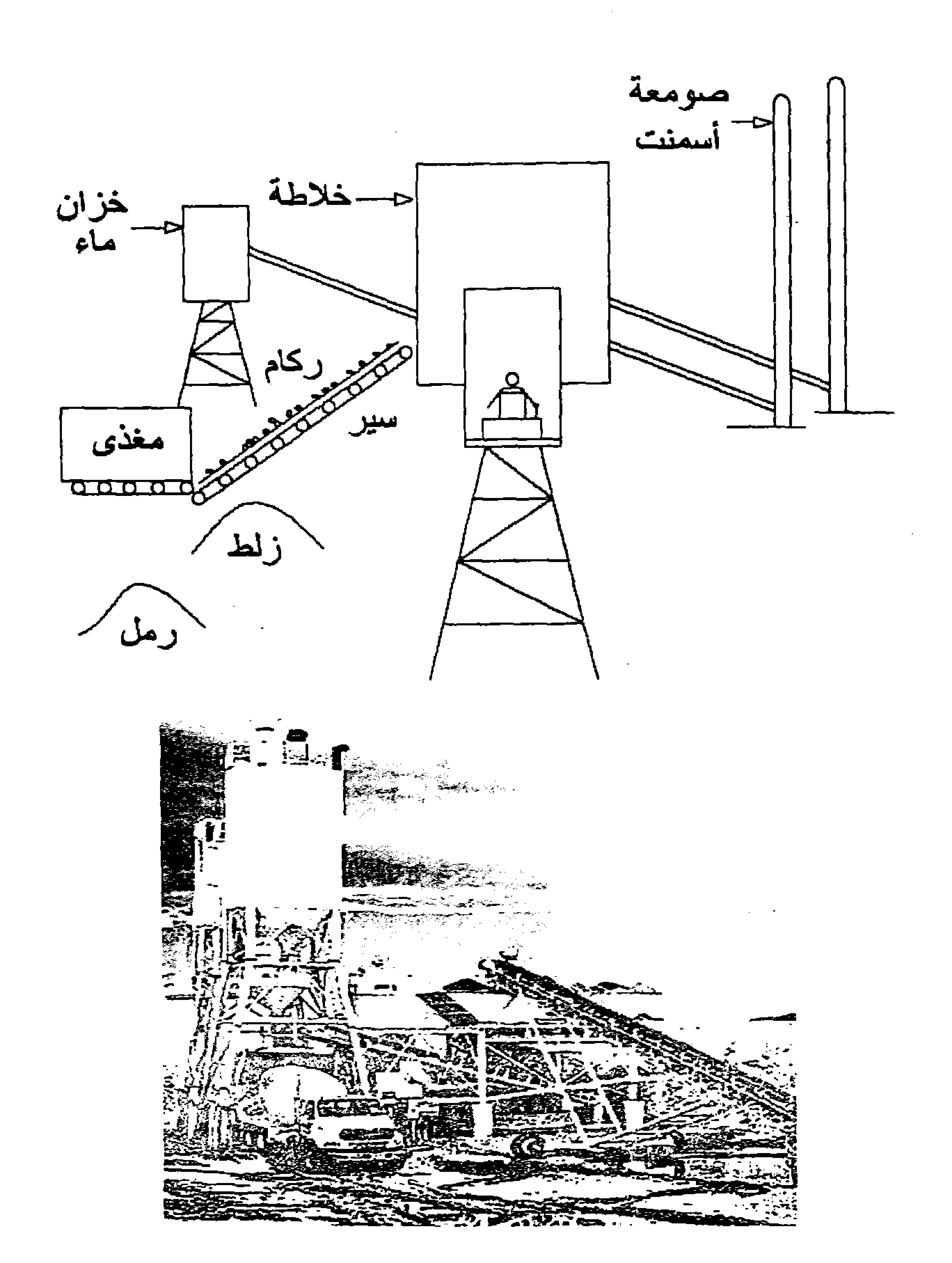


شكل (4-1) أشكال وصور الخلاطات الحجمية

وتتميز تلك الخلاطة بـــ:

1. إنتاجية عالية تتراوح بين 30 إلى 150 م3/ ساعة.
2. جودة عالية.
3. الخلاطة مجهزة بمقاييس لقياس رطوبة الرمــل والركــام الكبيــر، وتعــديل الأوزان.

شكل رقم (4ـــ2) يوضح رسومات للخلاطة الوزنية.



شكل (4-2) شكل و صورة للخلاطة الوزنية

4-3-2 نقل الخرسانة:

وتتم عملية النقل بطرق عديدة منها:

1- بالطرق اليدوية: حيث يتم الحمل المباشر للخرسانة.

2- بواسطة عربات صغيرة تدفع يدوياً: وهى سهلة المناورة.

3- بإستخدام Dumper:

وهى عربات تتحرك داخل الموقع يتحكم فيها سائق، وتعمل بالوقود، وتتميز بخفة الحركة والمناورة ونقل الخرسانة من المضخة حتى مكان الصب، ويعيبها فى حالة عدم إستواء الطرق أنّ الخرسانة قد تتعرض للتزيف نتيجة الهز الزائد.

4- العربات الخلاطة:
وهى عربة مزودة بحلة دوارة مزودة بأذرع ميكانيكية داخل العربة، تعمل على خلط الخرسانة عند نقلها من الخلاطة المركزية الى داخل المدن أو خارج المدن إلى الموقع، وقد يطول مسارالرحلة للوصول للموقع، لذلك فغالباً تضاف إضافة كيميائية مؤجلة للشك، ويجب ضبط سرعة دوران الحلة لتكون قياسية ، ويجب ألا تزيد فترة الرحلة عن 1.5 ساعة، بحيث يتم التأكد من الهبوط المطلوب ووحدة وزن الخرسانة عند الوصول للموقع ، وفى حالة زيادة الزمن عن ذلك، فيجب عمل دراسة مسبقة بحيث لا تتأثر خواص الخرسانة. ومن مميزات هذه الطريقة صب الخرسانة في الأماكن المزدحمة حيث لايتوفر مكان لخلط الخرسانة ويعيب هذه الطريقة صعوبة التحكم فى هبوط الخرسانة فى حالة طول الرحلة.

5- الأوناش Cranes:
ويستخدم ونش واحد أو عدة أوناش فى الموقع الواحد لنقل الشدات وصلب التسليح والخرسانة وكل شيء داخل الموقع، وتتميز بقدرتها على الوصول لأماكن أفقية ورأسية دون إعاقة العمل، وفى حالة تعدد الأوناش، فيجب عمل تخطيط مسبق لكيفية عملها معاً بالموقع.

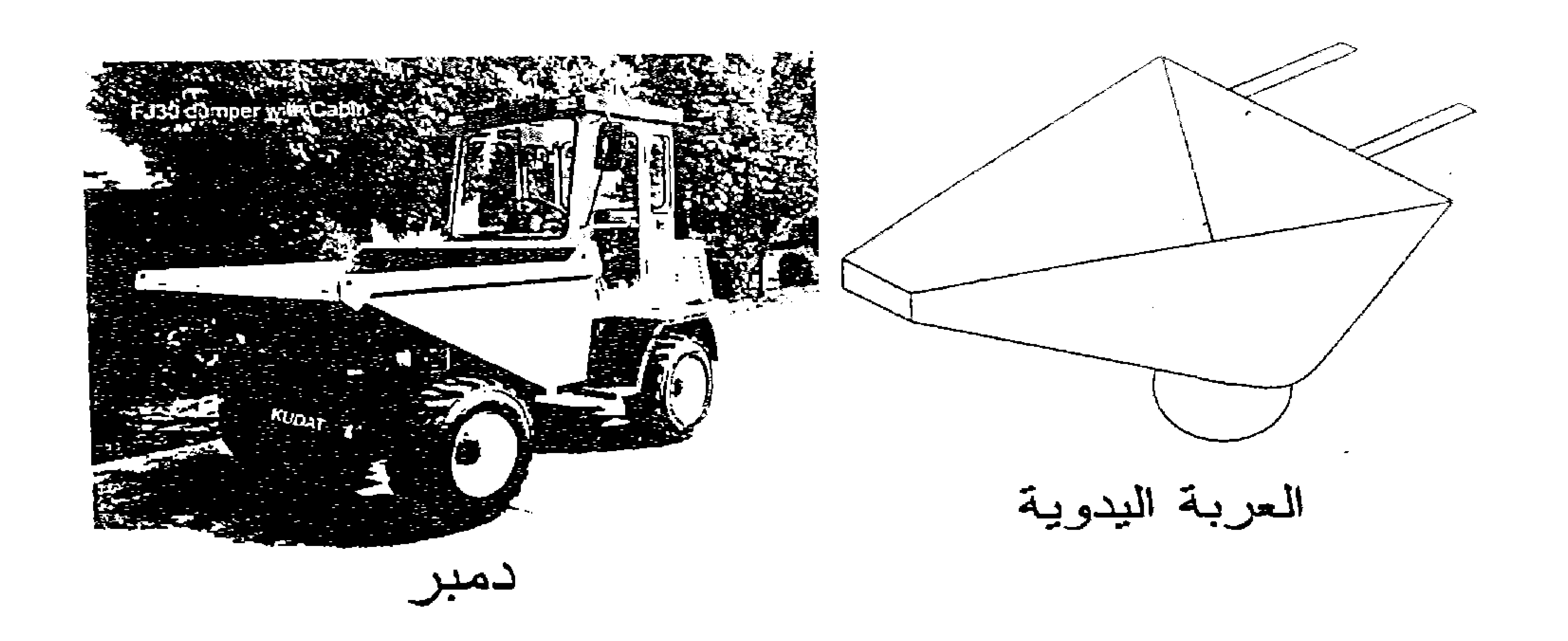
6- المصاعد Lifts:
وتستخدم لنقل الخرسانة رأسياً فقط، وهى غير مكلفة، ولكن أعلى السقف تحتاج لنقل الخرسانة أفقياً.

7- العربات الرجاجة Jetting Lorries:
حيث تنقل الخرسانة وتعرضها للرج الخفيف للحفاظ على قوامها.

8- قذف الخرسانة Shot concrete:
ويتم قذف الخرسانة تحت ضغط، ويستخدم فيها ركام لايزيد مقاسه الاعتبارى الأكبر عن 10مم، وتستخدم فى أعمال الترميم وصب الأجزاء ذات الأسماك الصغيرة، وتحتاج لعمالة مدربة.

9- استخدام المواسير (المزراب):
تستخدم المواسير لنقل الخرسانة إلى الأساسات أسفل سطح الأرض، ويجب الحفاظ عليها من تعرضها للانفصال.

10- السيور الناقلة:
وهى إما أن تكون مفردة أو متعددة، وقد تتعرض فيها الخرسانة للانفصال وفقد الهبوط.
شكل رقم (4ـ3) يحتوى على تلخيص لأساليب نقل الخرسانة، وأثناء نقل الخرسانة من الخلاطة ووضعها فى العربات أو عند الصب فى القوالب، يجب تلاشى حدوث انفصال أو إدماء الخرسانة. ويوضح الشكل (4ـ4) الأخطاء المحتملة أثناء عملية النقل والصب فى العبوات والقوالب.

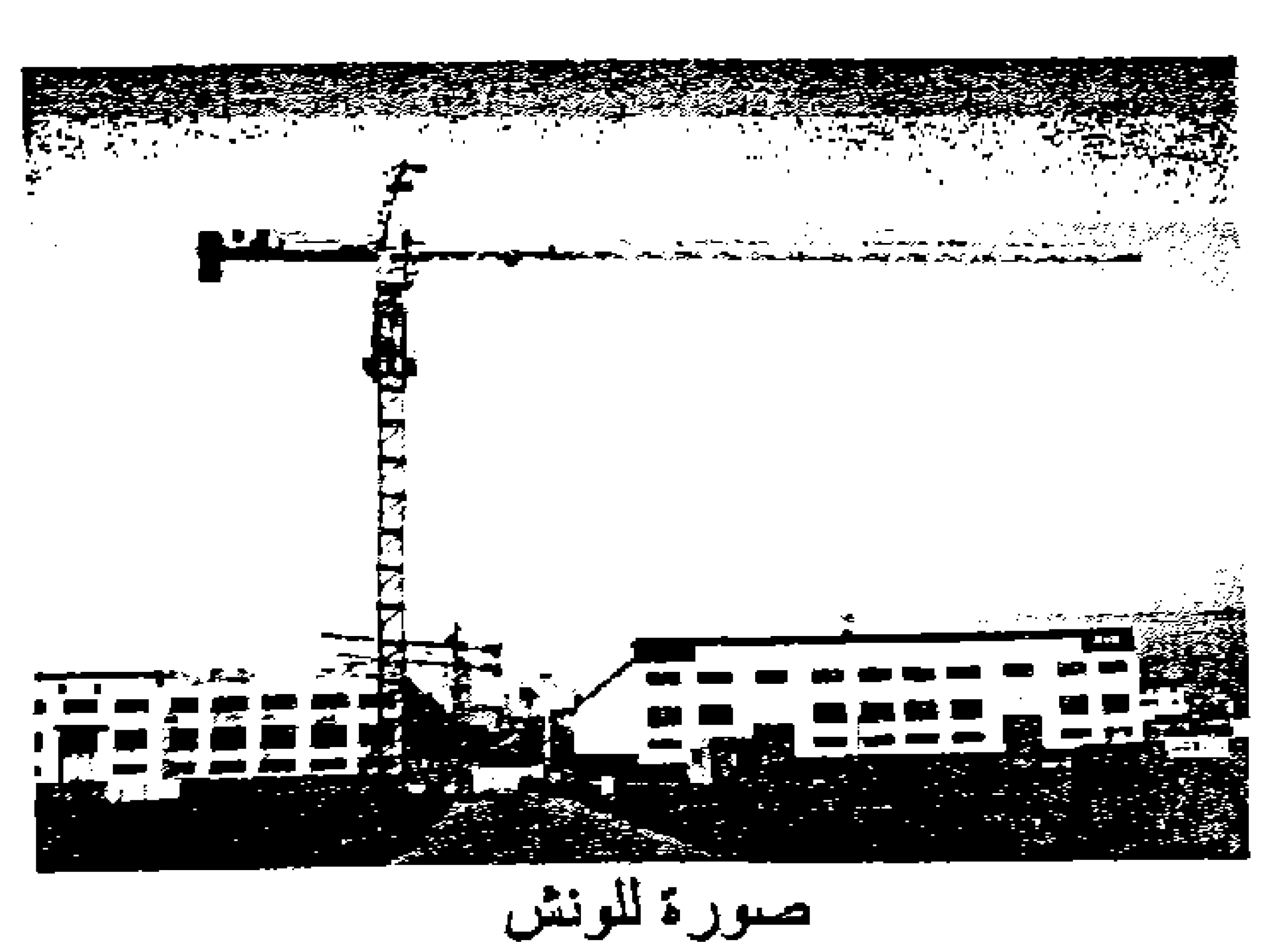


العربة اليدوية

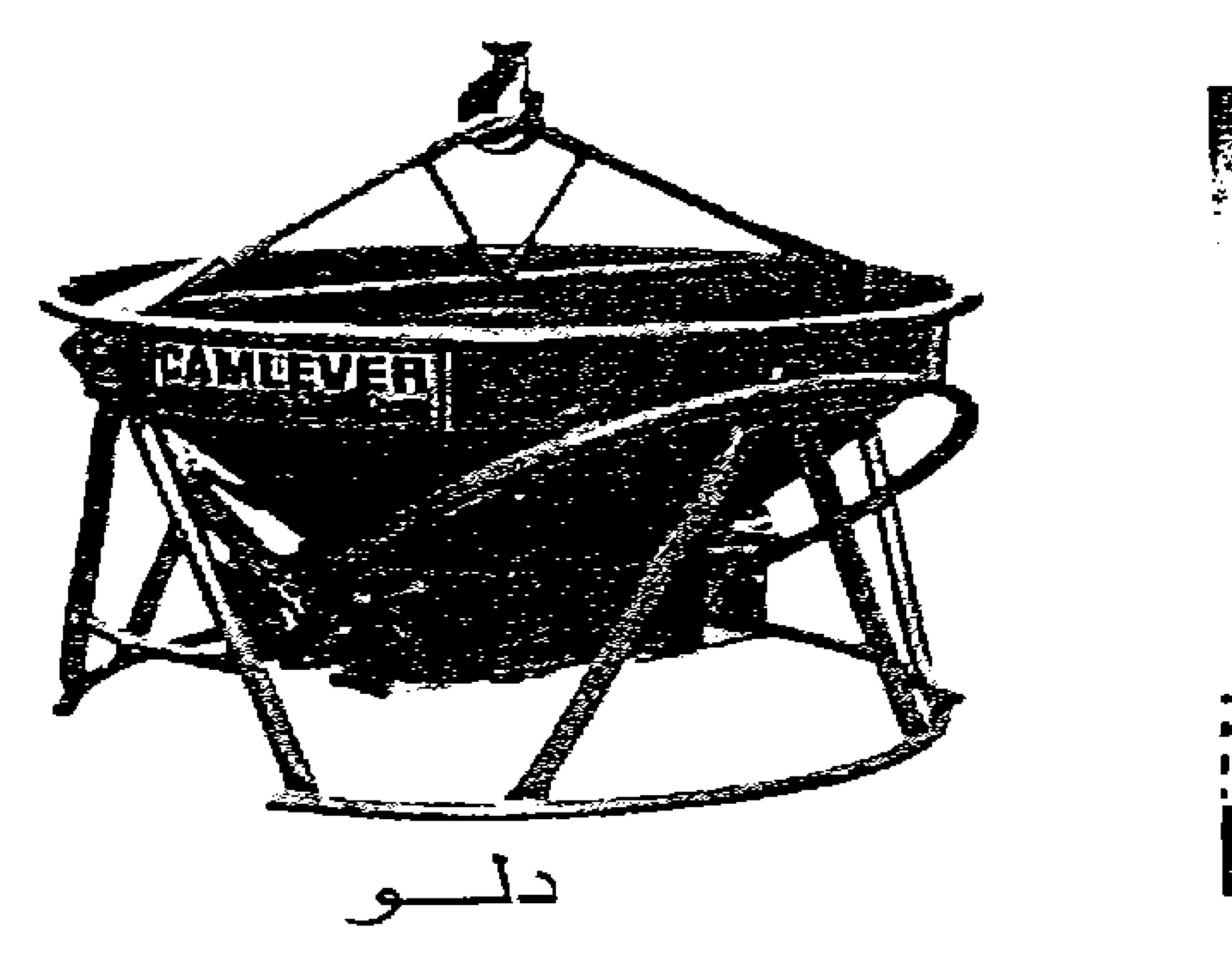
دمبر



عربة دوارة

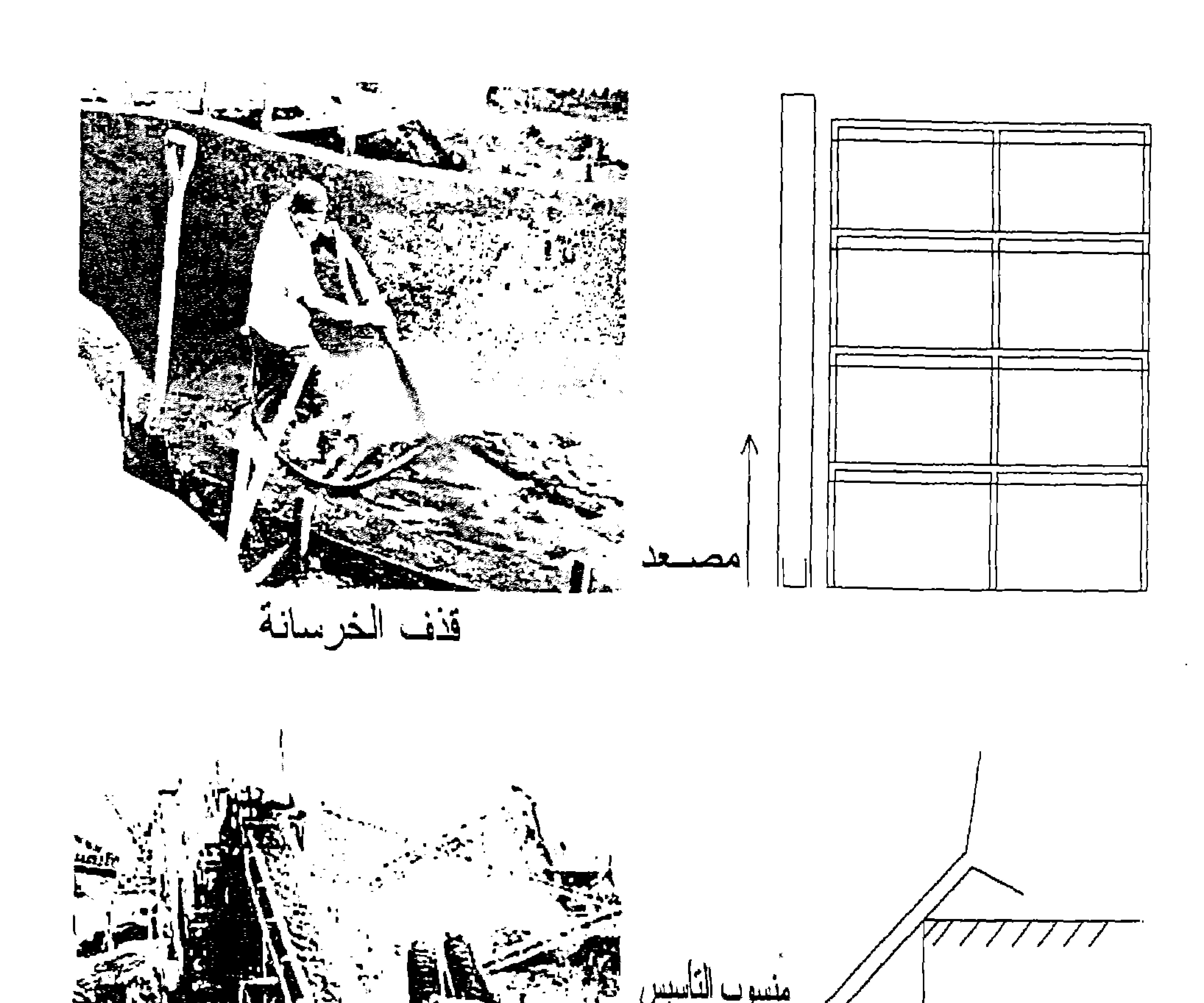


صورة للونش



دلـــو

شكل (4ـ3) أساليب نقل الخرسانة

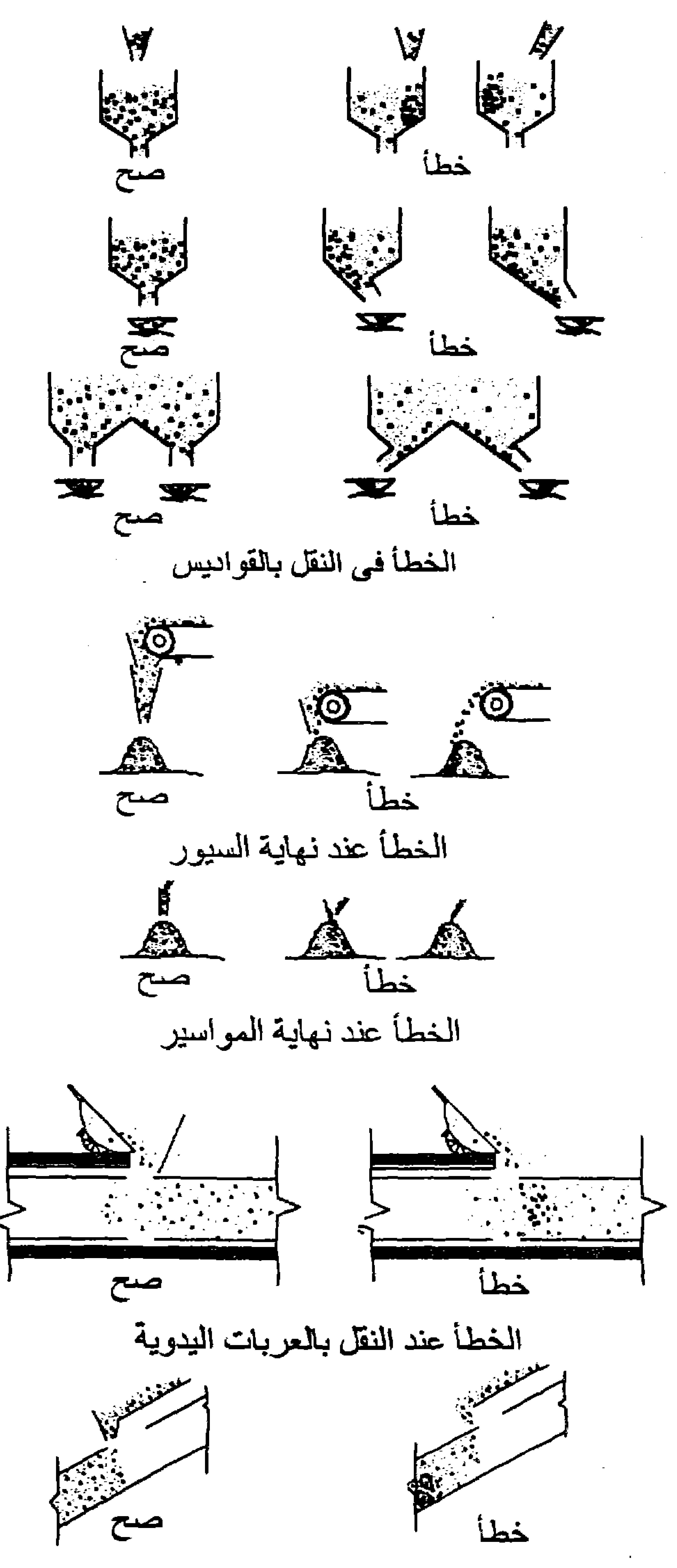


منسوب التاسيس

النقل بالمواسير

السيور

شكل (4ـ3) (مستمر) أساليب نقل الخرسانة



شكل (4ـ4) الأخطاء المحتملة أثناء نقل الخرسانة وتصحيحها(مستمر)

4ــ3ــ3 صب الخرسانة:

4ــ3ــ3ــ1 صب المنشآت التقليدية:

يجب قبل صب الخرسانة التأكد من تفاصيل التسليح والأبعاد واستلام الشدات، ويوصى بما يلى أثناء الصب:

1. تصب الخرسانة للبلاطات واللبشه والكمرات على طبقات تدمك كل واحدة دمكاً جيداً، ويفضل أن يتراوح سمك الطبقة بين 30سم فى حالة الخرسانة المسلحة و 50سم فى حالة الخرسانة العادية.
2. فى حالة صب الخرسانة فى أعمدة أو حوائط رأسية، فيجب الصب على عدة مستويات، حتى لايحدث انفصال أو نزيف ، بحيث يكون ارتفاع الصب الحر يتراوح بين 2ــ 2.5 متر وفى حالة زيادة الإرتفاع يمكن عمل فتحه صب جانبيه فى الشده وبعد صب المرحله الأولى يتم غلق الفتحه ثم يتم صب المرحله الثانيه .
3. فى حالة صب خرسانة حديثة على خرسانة قديمة ، فيجب تشبع الخرسانة القديمة بالماء قبل الصب بـ 24 ساعة، على أن يكون ذلك السطح خشن أو يخشن ليبرز الزلط، ثم ينظف السطح، ثم يرش بمونة أسمنتية غنية، ويمكن دهان سطح الخرسانة القديمة بدون رشها بالماء ، بمادة إيبوكسية، أو مادة بولمرية تزيد من ترابط الخرسانة القديمة بالخرسانة الحديثة، وفى تلك الحالة يجب أن يكون سطح الخرسانة جاف. فى حالة المنشآت الهيدروليكية، يفضل أن تتم عملية التخشين بالسفع بتيار رمل تحت ضغط عالى.
4. شكل (4ــ5) يوضح كيفية الصب الصحيح.

4ــ3ــ3ــ2 صب الخرسانة تحت الماء وفي الأساسات العميقة:

هناك عدة طرق لصب الخرسانة تحت الماء وهى:

أ. طريقة ترميو Tremie.

ب. الدلو Bucket.

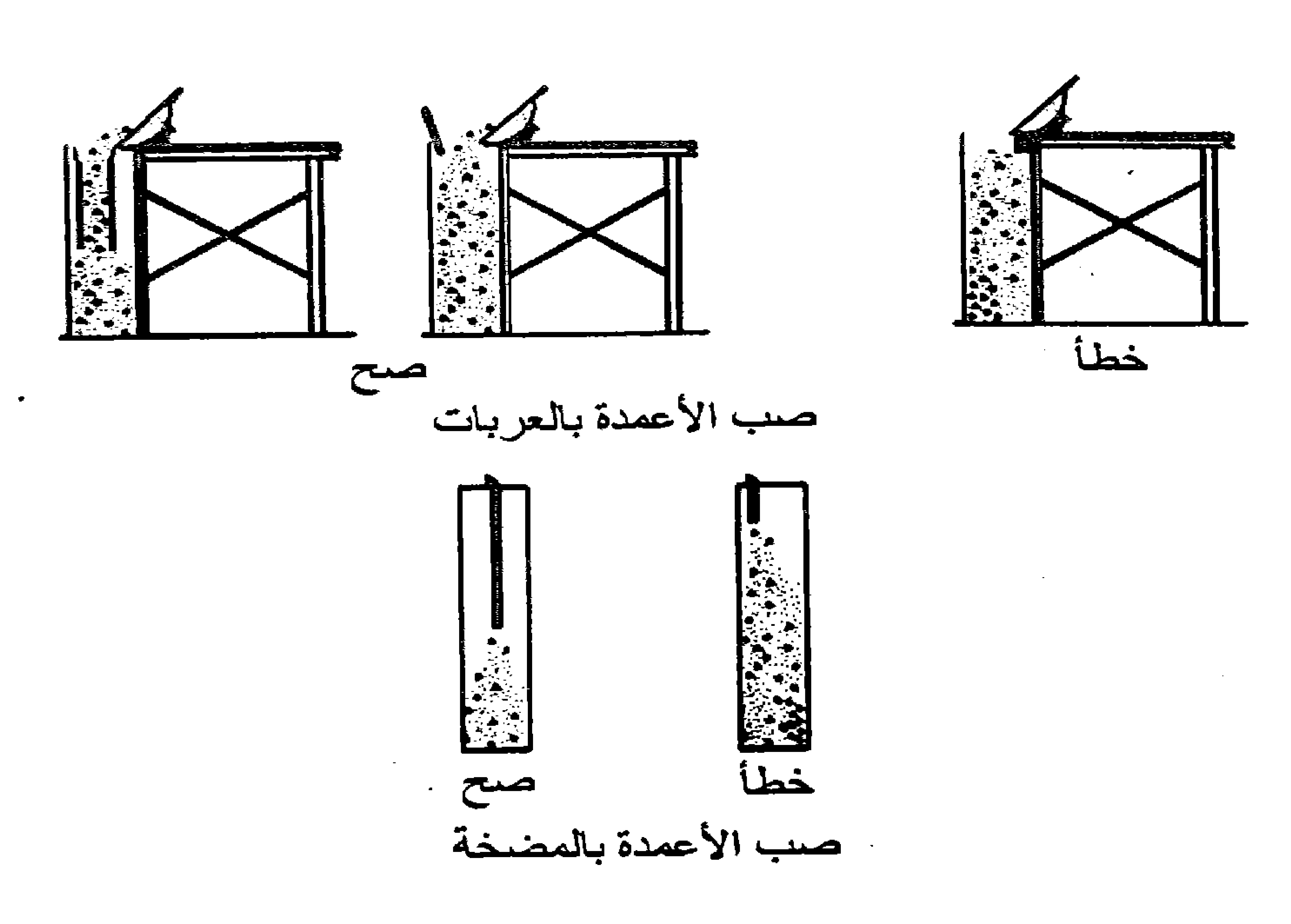
ج. حقن الركام.

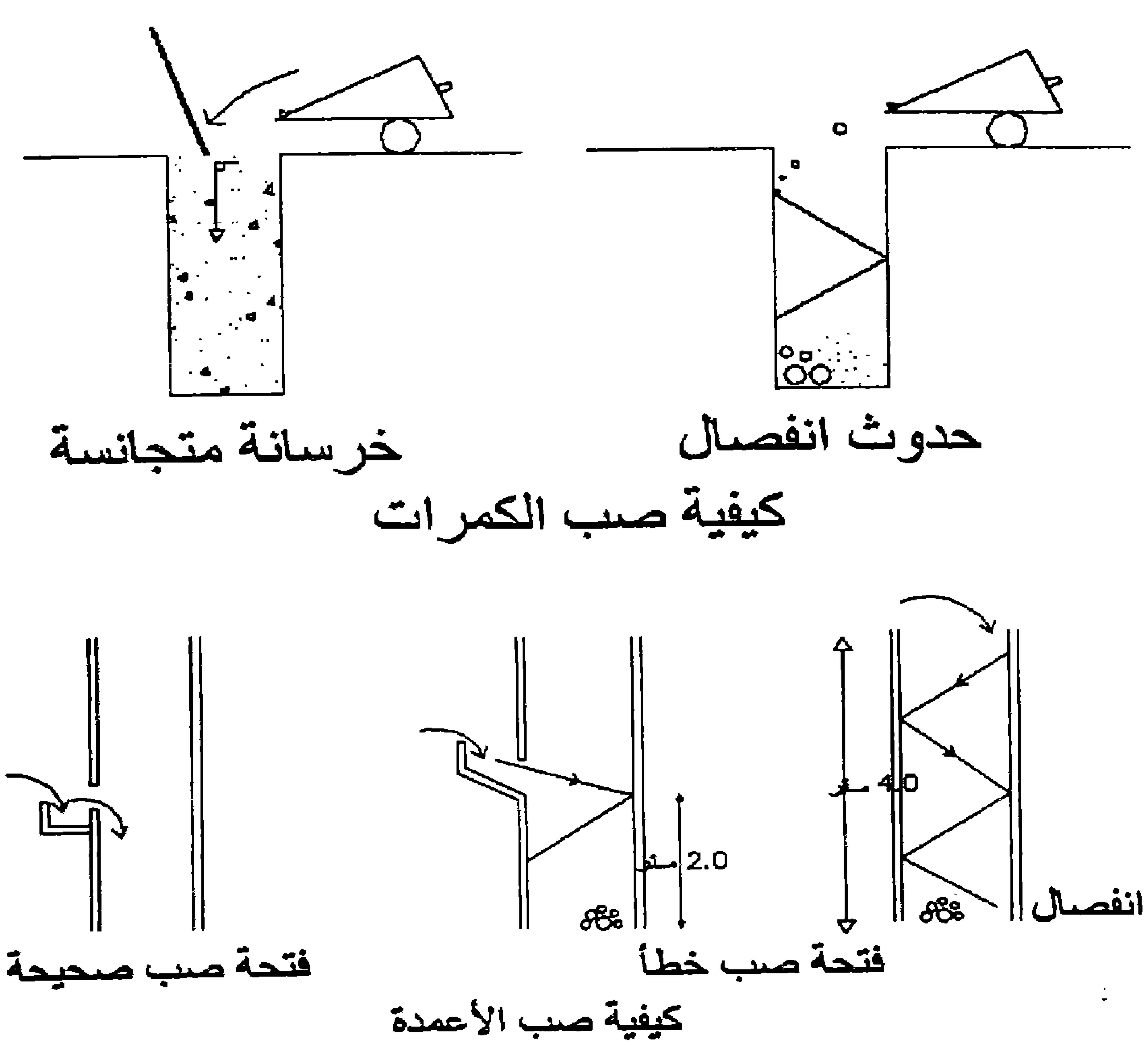
د. الشكائر الخرسانية.

ه. ضخ الخرسانة.

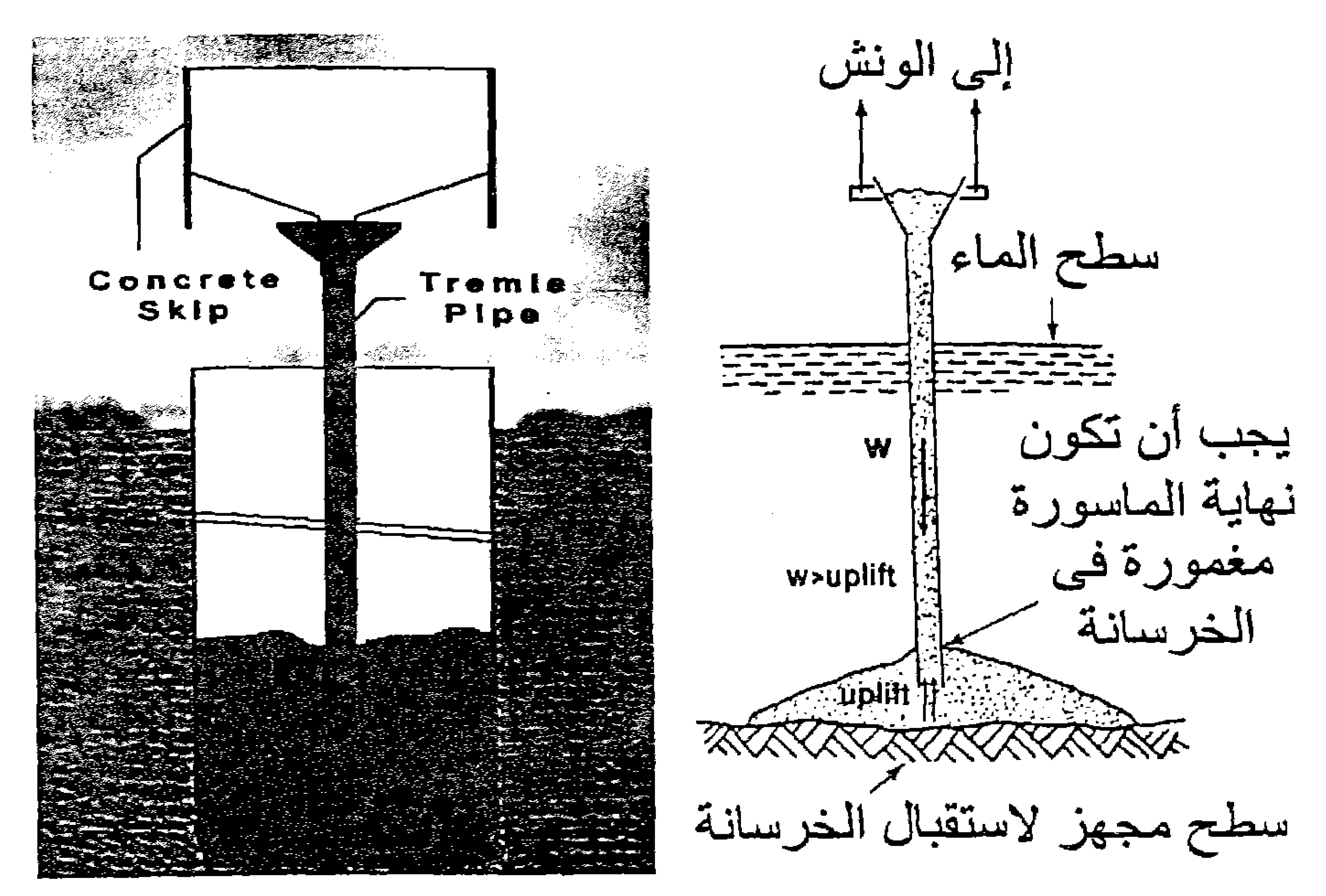
أ ــ طريقة الترميو:

وتتكون من ماسورة بقطر25سم أو10 أضعاف المقاس الإعتبارى الأكبر للركام، وماسورة الترميو أعلاها قادوس، وتغلق من أسفل بلوح معدنى، يتحكم فى فتحه وغلقه كابل من داخله، أو يتم غلقه بقطعة من الخشب فى أسفلها، وعند الوصول إلى العمق المطلوب تدفع الخرسانة السدادة لأسفل. فى حالة ما تكون قوة دفع الماء الجوفى أكبر كثيراً من وزن الماسورة، يتم إنزال الماسورة مفتوحة قبل ضخ الخرسانة بها، ويوضع غلاف من البولى إيثيلين أعلى الماسورة ليكون أسفل الخرسانة ليمنع إختلاط الخرسانة بالماء. وفى حالة ما تكون سرعة الماء أكبر من 30سم/دقيقة، يجب عمل سدود لتخفيض السرعة (شكل 4ــ6).





شكل (4ـ5) كيفية الصب الصحيح

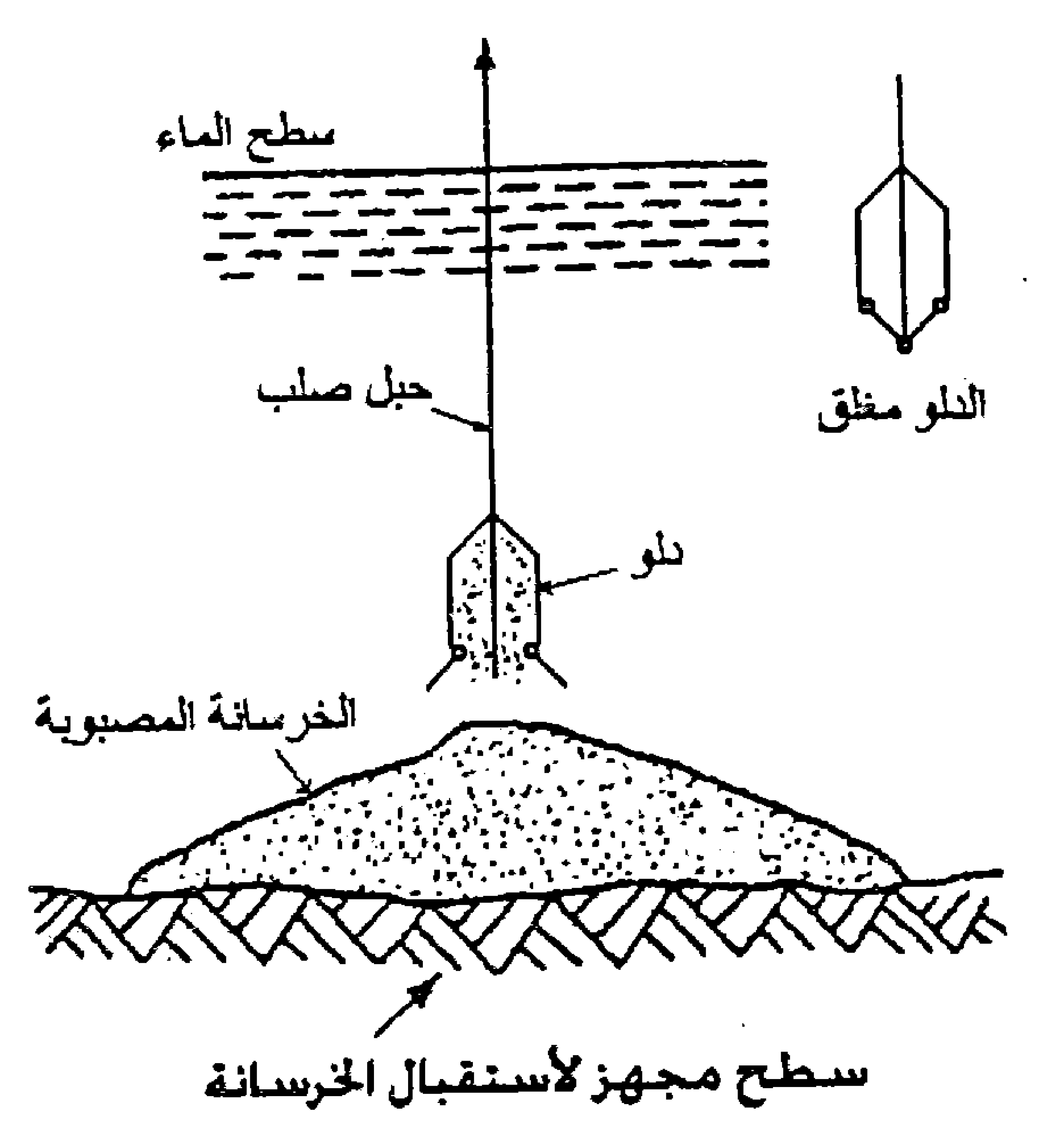


شكل (4ـ6) استخدام الترميو لصب الخرسانة

يتم صب الخرسانة داخل الترميو، على أن يكون وزن الخرسانة داخلها دائماً أكبر من قوة دفع الماء. ويراعَى عند نقل ماسورة الترميو أن لا تُنقل أفقيا، ولكن تسحب رأسيا، ثم تنزل فى المكان المناسب أثناء الصب، ويجب أن تكون الخرسانة غنية؛ لايقل محتوى الأسمنت عن 400كجم/م^3، ولا يقل محتوى الرمل عن 50% من محتوى الركام حتى نقلل حدوث الانفصال، ويُنصح باستخدام إضافات عالية التلدين، وفى الأعماق الكبيرة توضع مواد ناعمة (إضافات معدنية) لمنع غسيل الأسمنت (Washing of cement)، وينطبق ذلك أيضاً فى حالة ما تكون هناك أمواج أو سرعة بالماء.

ب ـ طريقة الدلو (Bucket):

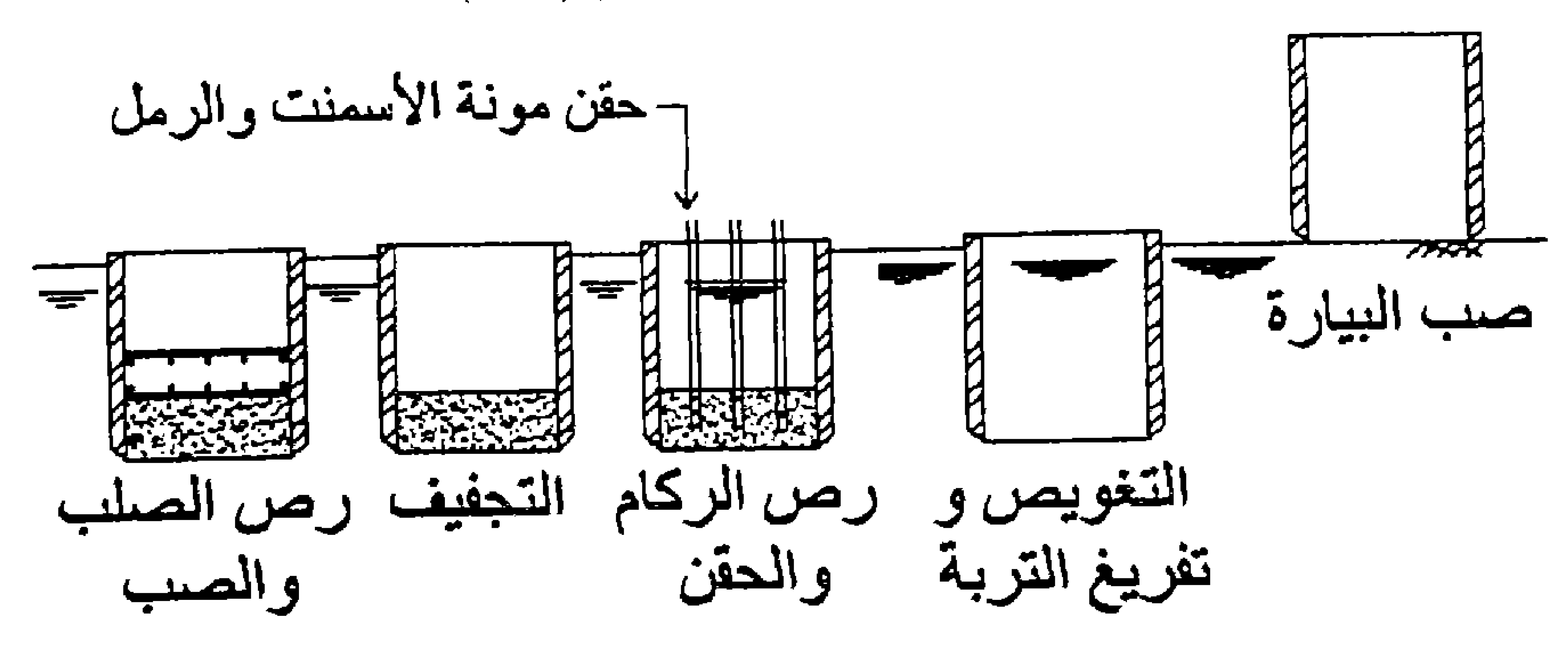
وهو عبارة عن دلو مفتوح من أعلى ذى بوابة من أسفل، حيث يتم ملء الدلو بالخرسانة وتغطيته، ثم إنزاله إلى المكان المطلوب، ثم تفتح البوابة السفلية، فتصب الخرسانة (شكل4ـ7)، ويُفضل ألا يقل الهبوط عن10سم، ولايقل محتوى الأسمنت عن 400كجم/م^3، ويزداد محتوى الرمل، ويُفضل دائماً أن يتم الصب بالدلو داخل ماسورة.



شكل (4ـ7) طريقة الدلو

جـ ـ طريقة حقن الركام الكبير (*Injection of Placed Aggregate*):

حيث يتم رص الركام الكبير، ثم تضخ المونة بواسطة مواسير خاصة أو مـضخات، ويتم استخدامها فى ترميم الأعضاء التى يصعب الوصول اليها، وكـذلك صـب وتنفيـذ بيارات الصرف الصحى بالخطوات الموضحه بشكل رقم (4ـ8).



شكل (4ـ8) استخدام حقن الركام فى تنفيذ بيارات الصرف الصحى

د ـ طريقة الشكاير الخرسانية (*Concrete Sacs*):

حيث تُرص شكائر من الجوت معبأة بالخرسانة بعناية تحت الماء بواسطة غواصين، وتشكيل جسم العضو المراد صبه برص الشكائر، ثم يحدث أن تشك الخرسانة، فيتصلب العضو، وتستخدم هذه الطريقة فى عمل سدود لتهدئـة سـرعة الميـاه فـى المجارى المائية، ومعالجة وترميم بعض التآكلات بالمنشآت البحرية.

4ـ3ـ3ـ3 صب الخرسانة بالمضخات (Placing by Pumping Method):

وهى عبارة عن ضخ الخرسانة بعد صبها فى مواسير مرنة أو جسئة (Rigid) إلى أماكن الصب فى قوالب. وتُعتبر هذه الطريقة من الطرق التى تحقق إنتاجية صب عالية، وهى تُستخدم فى أغلب الإنشاءات، ولو أنها تُفضَّل فى المواقع الغير متوفـّر فيها معدات تشييد. ولا تُفضَّل فى الأماكن المرتفعة جداً لغلو ثمن المواسير وارتفاع قيمة الطاقة المبذولة، وبالتالي تؤثر على إقتصاديات المشروع.

* أنواع المضخات:

أ ـ المضخات ذات المكبس (Piston Pumps):

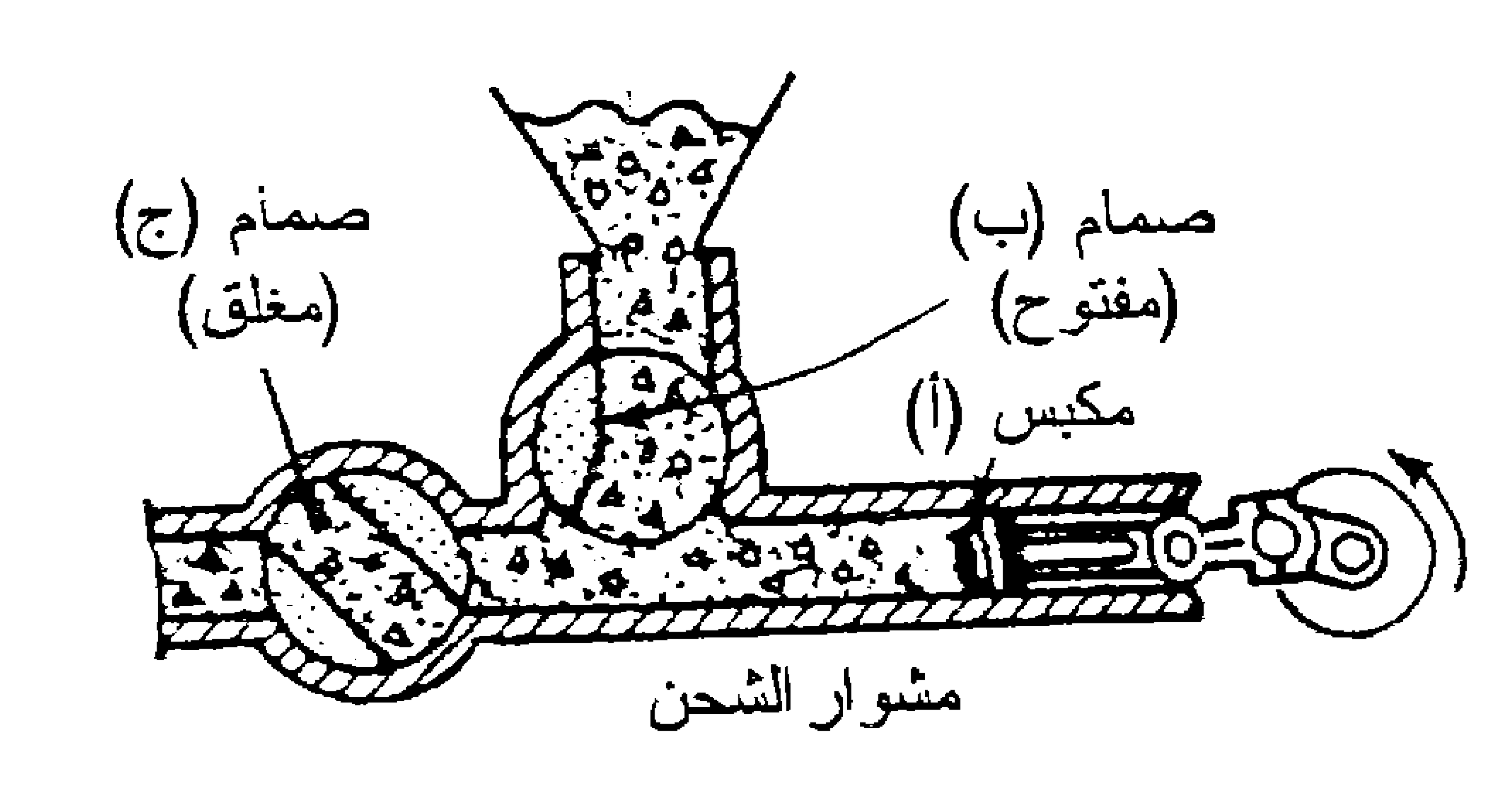
وهى تختلف من منتج إلى آخر، وعموماً فإنها تتكون من الأجزاء الرئيسية التالية:

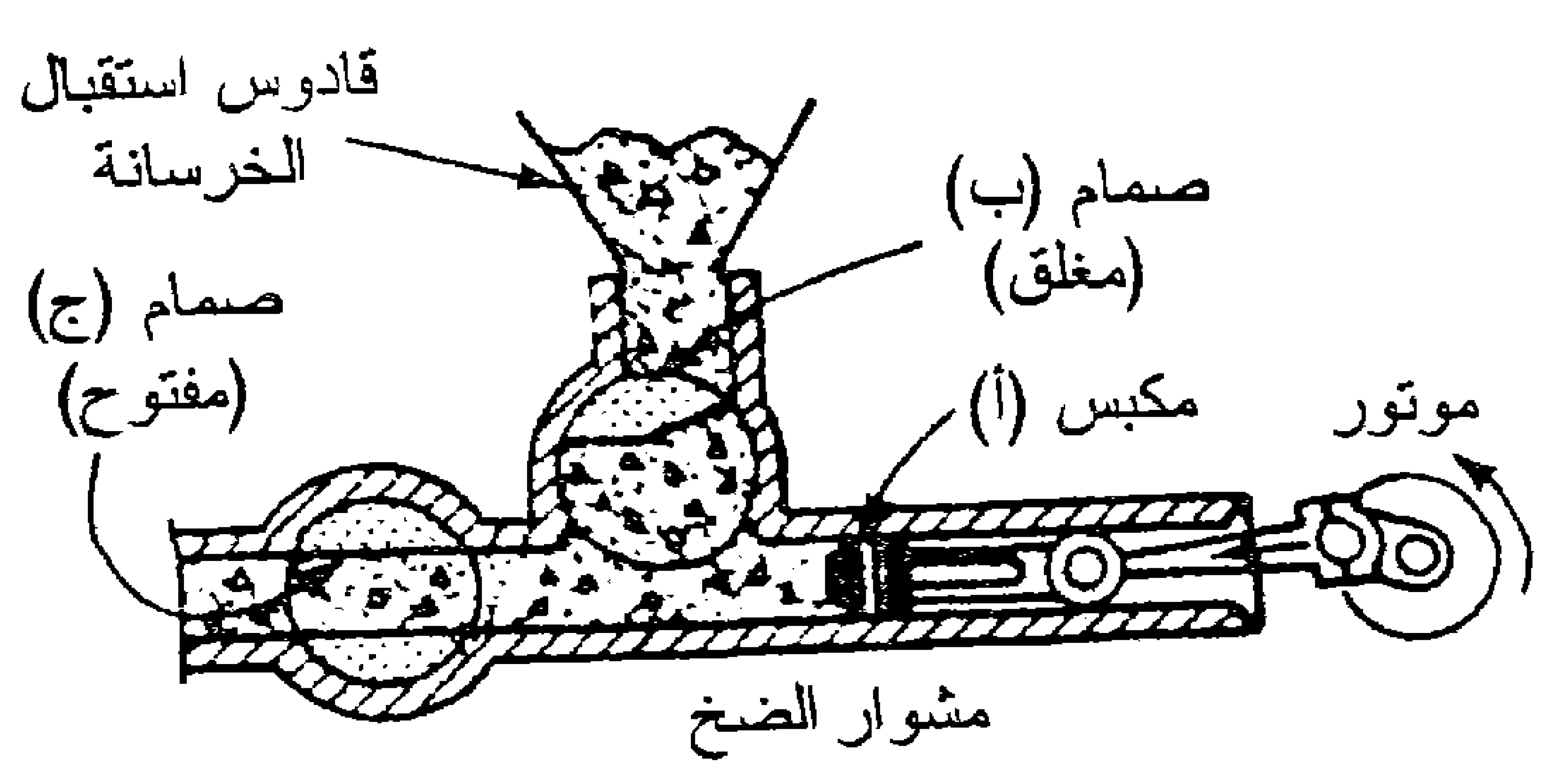
1- قادوس يستقبل الخرسانة الطازجة من الخلاطة.

2- اسطوانة تستقبل الخرسانة من القادوس.

هذه الاسطوانة تلتقى بالقادوس على هيئة حرف T مقلوب، وبالتالى يكون لها ثلاث فتحات:

- الفتحة الأولى: يعمل عليها مكبس (أ) متصل بموتور يعمل بالديزل أو بالكهرباء.
- الفتحة الثانية: يعمل عليها صمام (ب) يتحكم فى دخول الخرسانة من القادوس للاسطوانة.
- الفتحة الثالثة: فيعمل عليها صمام (جـ) يسمح بخروج الخرسانة من المضخة إلى المواسير وليس العكس (شكل 4ـ9).





شكل (4-9)المضخة ذات المكبس

3- مواسير مرنة من المطاط المقوى أو من وصلات من المواسير الجسئة.

- ***نظرية العمل:***

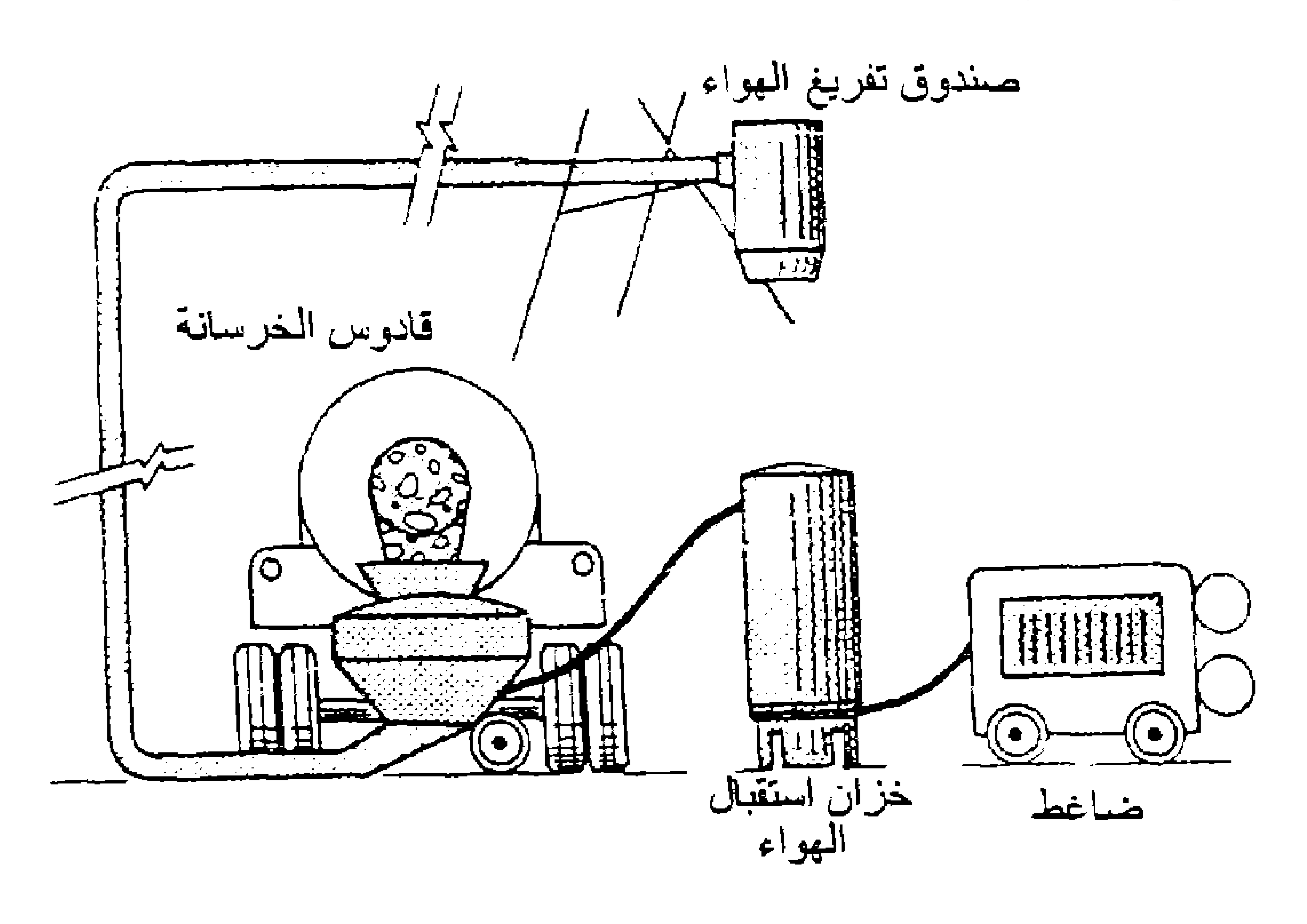
ينقسم عمل المضخة إلى مشوارين: المشوار الأول؛ هو مشوار الشحن، وفيه يتحرك المكبس (أ) إلى الخارج، وبالتالى يفتح الصمام (ب)، فيسمح بنزول شحنة من الخرسانة للاسطوانة، فى حين سيكون الصمام (جـ) غالقاً الاسطوانة، والمشوار الثانى؛ هو عكس المشوار الأول، حيث يتحرك صمام المكبس (أ) للداخل، وبالتالى يغلق الصمام (ب)، ويلى ذلك فتح المكبس(جـ)، فتندفع الخرسانة فى المواسير.

وعموماً تتغير سعة القادوس من 0.10 إلي 1.5 م^3، وغالباً ما يكون مزود بأجهزة إعادة خلط؛ لكى يحافظ على قوام وتجانس الخلطة.

ب ـ *المضخات الهوائية Pneumatic Pump:*

ويتكون هذا النوع من المضخات من الأجزاء الرئيسية الآتية، كما هو مبين بشكل (4ـ10).

1- خزان هواء.
2- ضاغط للهواء.
3- مستقبل الخرسانة من الخلاطة.
4- المواسير الناقلة.
5- خزان تصريف الهواء.



شكل (4ـ10) المضخة الهوائية

- ***نظرية العمل:***

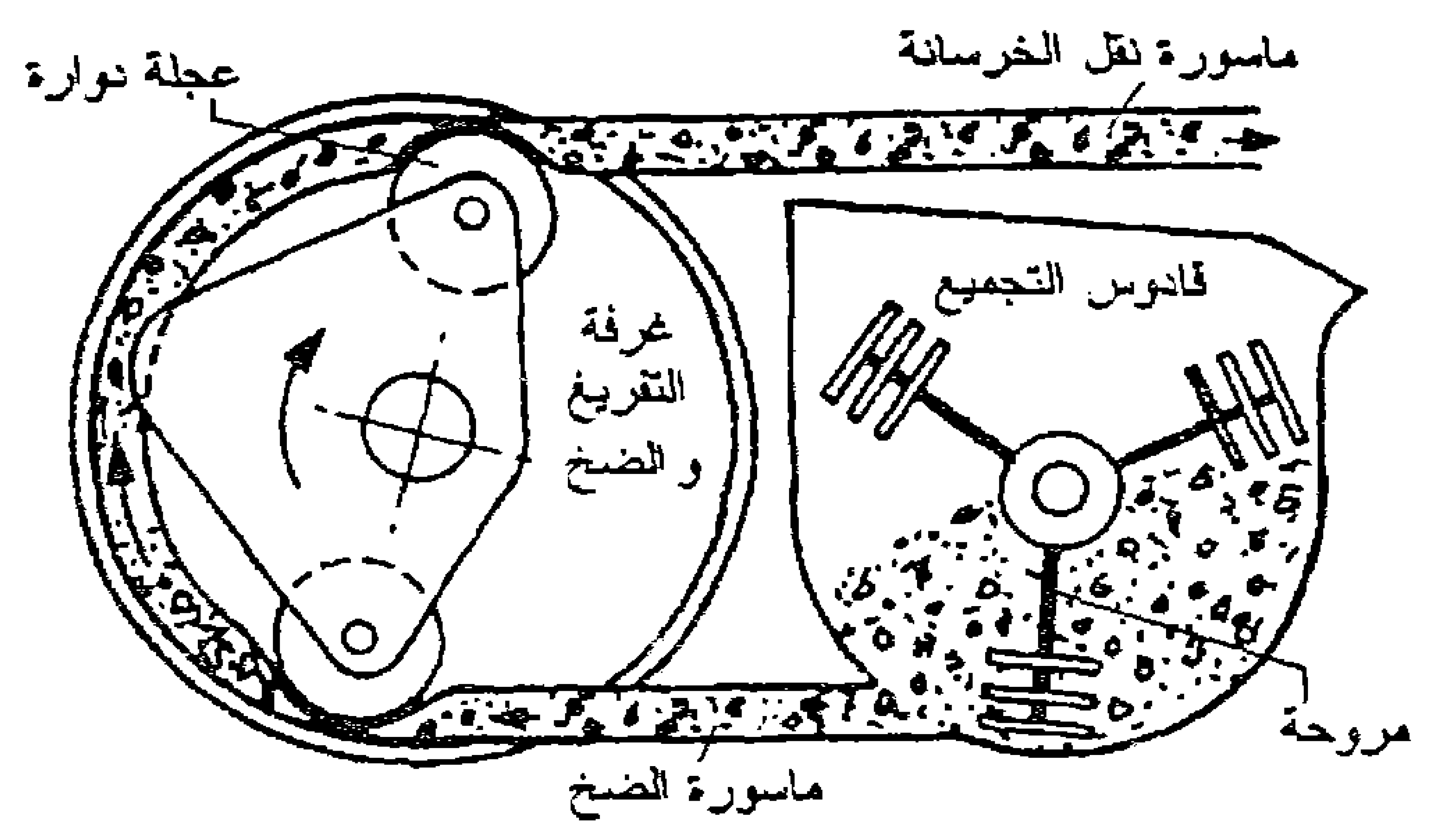
يتم شحن مستقبل الخرسانة، ثم يتم تشغيل ضاغط الهواء ليولد ضغط على الهواء فى الخزان، فيندفع الهواء بقوة إلى مستقبل الخرسانة، حيث يدفعها فى المواسير، وعند النهاية تصب فى خزان لتصريف الهواء الموجود بالخلطة، ثم تتدفع الخرسانة لمكان الصب،

وتستخدم تلك المضخات لنقل الخرسانة لمسافات طويلة، وتستخدم بدون خزان تـصريف الهواء في أعمال الترميم.

جـ ـ مضخات الضغط والدفع Squeeze Pressure Pump:

وكما هو واضح من الشكل (4ـ11ـ أ) تتكون المضخة عموماً من:

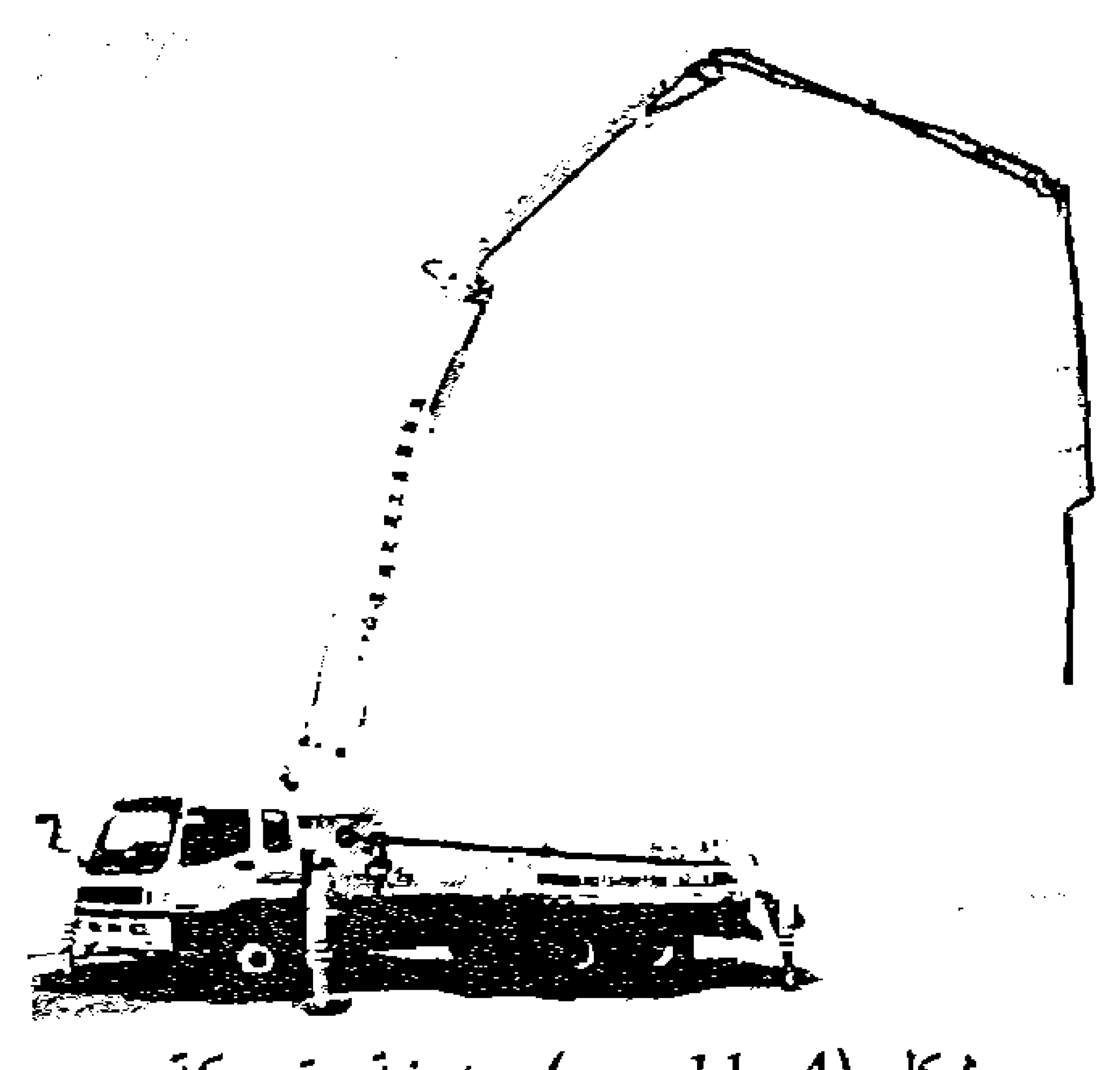
1- قادوس لتجميع الخرسانة.
2- ماسورة ضخ مرنة تتصل من جهة بقادوس التجميع المزود بمراوح لدفع الخرسانة، ومن جهة أخرى تتصل بماسورة الخرسانة.
3- وحدة الدفع؛ وهى مزودة بعجلتين دوارتين (أ، ب) تحدث اختناق في مواسير الضخ، ثم تدفع الخرسانة إلى أعلى وإلى الأمام، وجدير بالذكر أنها مزودة كذلك بغرفة لتفريغ الهواء أمام دفعة الخرسانة، مما يساعد على سهولة انسياب الخرسانة.
4- مواسير نقل الخرسانة؛ وهى إما مرنة أو جسئة.



شكل (4ـ11ـ أ) مضخة الضغط و الدفع

وهذه المضخات قوية لأن بها عدة وسائل لشحن الخرسانة بالطاقة؛ مثل المراوح ووحدات الدفع وعملية تفريغ الهواء.

ومن المهم التنويه إلى أن مضخات نقل الخرسانة اليوم عبارة عن مضخات متحركة لأنها تركب على سيارة والمواسير عبارة عن وصلات مفصلية تُستخدم لنقل الخرسانة، كما هو موضح بشكل (4ـ11ـ ب).



شكل (4ـ11ـ ب) مضخة متحركة

وفى المنشآت العالية كناطحات السحاب يتم دفع الخرسانة بواسطة المضخة لمنسوب معين فى المبنى، وعند ذلك المنسوب يتم خلط خرسانة جديدة يتم دفعها لباقى الطوابق بمضخة مثبتة عند هذا المنسوب.

*** خواص الخرسانة والمواد المستخدمة فى المضخات:**

أ ــ الركام:

عموما فإن الركام الدائرى يفضّل عن الركام الزاوى، ولو أن كُلا منهما يُستخدم. وكذلك فإن الزلط والركام الصخرى الغير قابل لامتصاص المياه تكون له الأولوية فى الاستخدام.

وعموماً فإنه للركام الزاوى المستخدم فى المضخات، يجب ألا يزيد مقاسه الاعتبارى الأكبر عن ثلث القطر الداخلى للمواسير حاملة الخرسانة أو مواسير الضخ أيهما أقل، فى حين يصل هذا المقاس إلى 40% من القطر الداخلى فى حالة الركام الدائرى.

وأيضا فإن الركام الأملس يكون أكثر تفضيلاً عن الركام الخشن. ومن المناسب ألا تتعدى نسبة الركام الكبير نسبة معينة حيث أن زيادته قد تسبب مشاكل كثيرة فى الموقع، لذلك فإن مصمم الخلطة الخرسانية عليه أن يقلل محتوى الركام الكبير قليلاً عن الخلطة المستخدمة فى طرق الصب العادية.

أما الرمل فهو يلعب دوراً أكثر أهمية حيث أنه مع الأسمنت والماء يمثل المونة الحاملة للركام الكبير. والرمل المستخدم فى المضخات تتراوح معاير نعومته بين 2.13 و 3.37، ولو أن القيم العالية منه غير مفضلة؛ حيث أن الرمل الناعم يكون أكثر كفاءة ؛ لمقاومته الجيدة للانفصال، وبالتالى يساعد على كفاءة الضخ، ولذلك نرى أنه يفضل استخدام رمل معاير نعومته بين 2.30 و 2.60.

ب ــ الأسمنت:

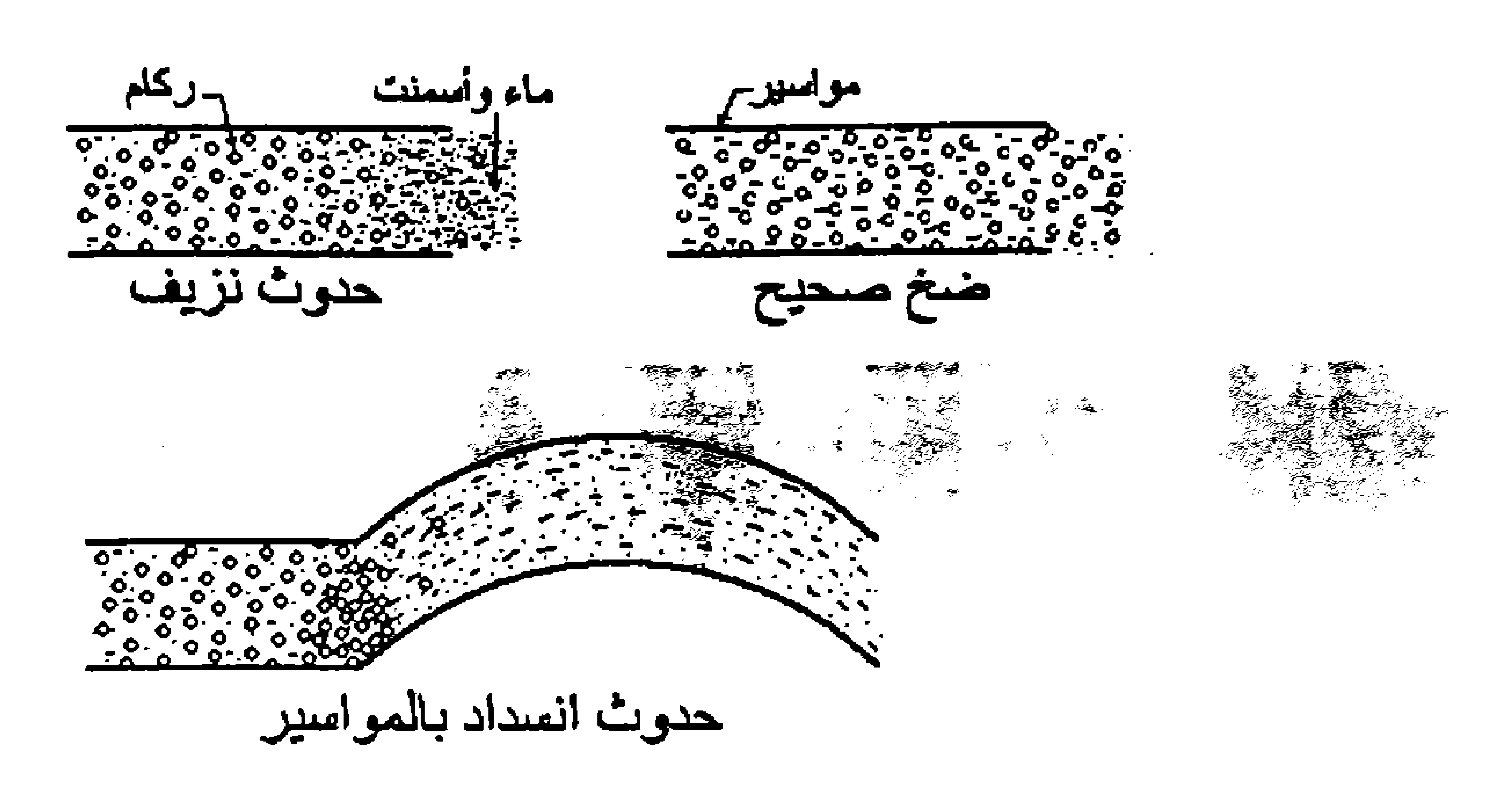
يفضّل استخدام الأسمنت البورتلاندى العادى، وقد يمنع استخدام الأسمنت سريع التصلد، وخاصة فى حالة المسارات الطويلة التى قد تؤدى إلى مشاكل كثيرة.

أما محتوى الأسمنت فيتحكم فيه احتياجات كلاً من درجة التشغيلية ومقاومة الضغط المطلوبتان.

جـ ــ محتوى الماء (Water Content):

من أهم متطلبات الخرسانة المستخدمة فى المضخات هو أن تكون قادرة على الضخ بدون حدوث إدماء أو انفصال فى مكوناتها، وفى حالة غياب الإضافات، فإن الماء يلعب دوراً هاماً جداً، ويجب على المهندس فى الموقع ألا يلجأ للزيادة العشوائية فى الماء أملاً فى الحصول على خرسانة سهلة الضخ؛ فإنه يؤدى إلى مشاكل وخيمة.

فقد يحدث نزيف؛ مما يؤدى إلى نقص فى المقاومة المتوقعة، وقد يحدث فى حالة زيادة كمية المياه أن يسير الماء حاملاً أغلب حبيبات الأسمنت بسرعة ويترك الركام راقداً فى المواسير، ومع مرور الوقت يحدث تراكم للركام؛ مما يؤدى إلى انسداد المواسير، وفى هذه الحالة، يُرجع القائمون بالعمل هذه المشاكل إلى نظام المضخات، فى حين أنه يعود لقلة المعلومات والخبرة، انظر شكل (4ــ12).



شكل (4ـ12) الضخ الصحيح وعيوب الضخ

د ــ الإضافات *(Admixtures)*:

أحياناً يكون من الضرورى إضافة بعض المواد إلى الخرسانة، وذلك لأداء غرض معين، ومن هذه المواد:

- المواد الملدنة Plasticizer.
- المواد الملدنة المؤجلة والمواد عالية التلدين Super-plasticizer.
- المواد المسببة للهواء المحبوس.

وهذه المواد كلها تسبب تحسن فى درجة التشغيلية، ومنها من يؤجِّل شك الخرسانة ويقلل من فقد التشغيلية مع الزمن وقد تستخدم الإضافات المعدنية لتقليل النزيف والانفصال.

ويلاحَظ أن المواد الملدنة والعالية التلدين والمواد المسببة للهواء المحبوس تتميز بحفظ التجانس للخلطة وتقلل من ظاهرة انفصال أو نزيف الخرسانة.

ومن المفضل أن نشير إلى أهمية استخدام المواد المؤجلة فى حالة طول خط المواسير أو زيادة ارتفاع المنشأ، ومن الأمور الهامة للمهندس الاستشارى ألا يأخذ عينات الخرسانة (المكعبات والإسطوانات) من الخلاطة؛ بل تؤخذ عند نهاية خط المواسير (مكان الصب)، حيث أنه سيمثل الخرسانة فى آخر مراحلها، ومن الضرورى كذلك فى حالة ملاحظة النزيف أو الانفصال بالعين أن يتخذ القرار المناسب.

هـ ــ توصيات عامة *(General Recommendation)*:

1- يجب ألا يكون تخطيط الموقع العام لوحدات الضخ عشوائيا؛ بل يجب عمل تصميم مسبَّق، بحيث يقلل من فواقد الطاقة ويقلل الزمن.
2- مسار خط المواسير يفضَّل أن يكون المسار الذى به أقل انحناءات.
3- يجب أن يكون هناك وحدات إضافية جاهزة لتعويض أى جزء قد يصيبه العطل، سواء للخلاطة أوللمضخة.
4- فى حالة ضخ الخرسانة فى مرتفعات، فيجب تزويد المواسير بالقرب من المضخة بصمام يمنع رجوع الخرسانة فى الطريق العكسى، أما فى حالة ضخ

الخرسانة لأسفل لأعماق 15متر أو يزيد فيجب وضع صمام لتصريف الهواء المتجمع، ولابد من حدوث تفريغ فى منتصف مواسير نقل الخرسانة.

5- قبل بدء ضخ الخرسانة يجب تشغيل جميع الوحدات أولا، والتأكد من صلاحيتها، ثم يلى ذلك ضخ مونة أسمنت فى مواسير نقل الخرسانة؛ حتى تبطن بلبانى الأسمنت الذى يقلل من الاحتكاك.

6- يفضّل بعد فترة تشغيل أن يُضبَط معدل صب ثابت، وغير مسموح بإيقاف عملية الضخ.

7- فى حالة انسداد إحدى وصلات المواسير، فيتم إدخال قضيب من الصلب، وإلا فقد يُلجأ لضخ تيار من الماء أو الهواء.

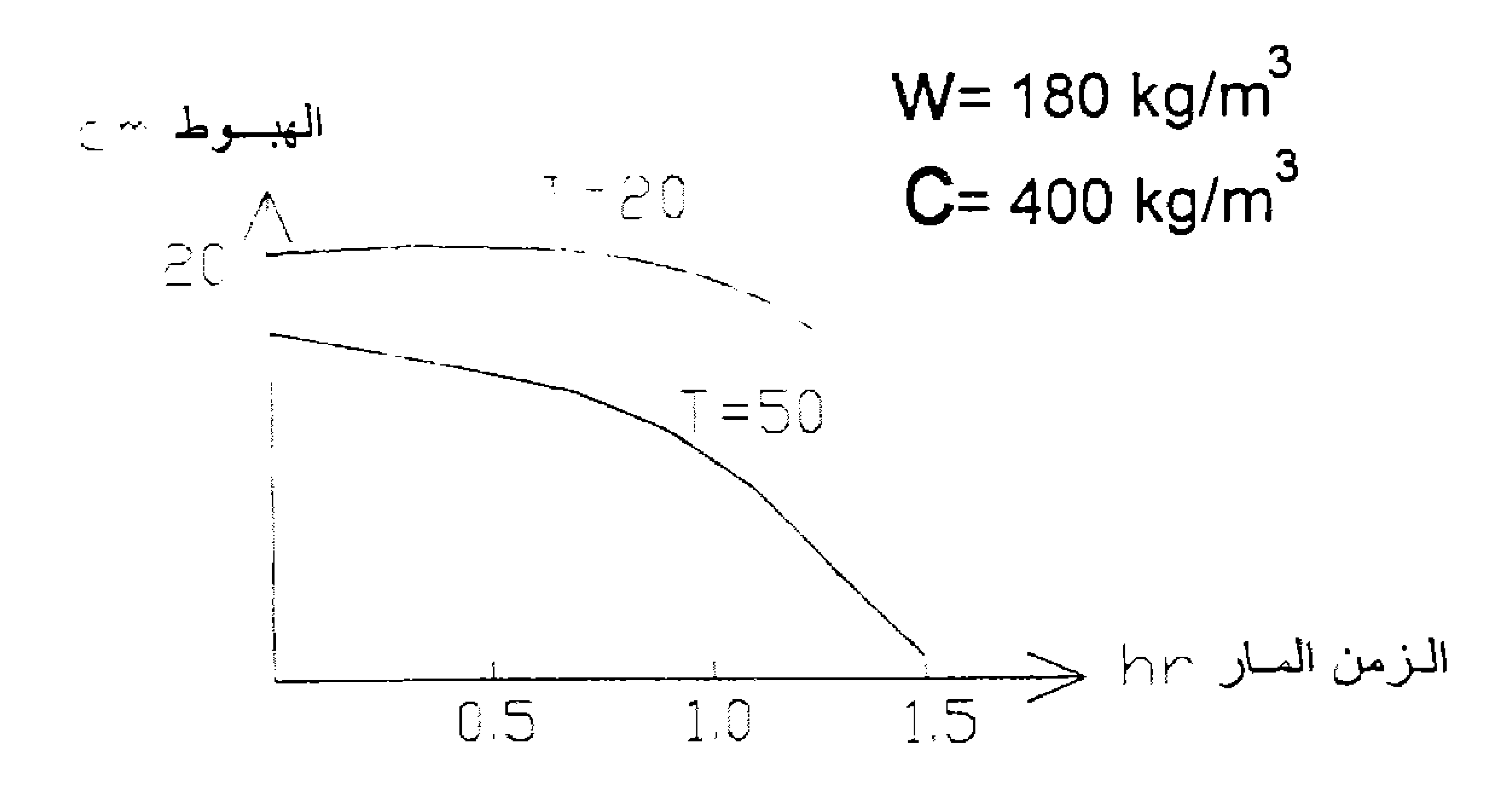
8- يتم غسيل المضخه والمواسير عند نهاية العمل

4ــ3ــ3ــ4 صب الخرسانة في الأجواء الحارة (Hot Weather Concreting):

فى الأجواء الحارة حيث ترتفع الحرارة وتقل درجة الرطوبة وتزداد سرعة الرياح، تتأثر خواص الخرسانة فى مراحلها الثلاثه، ويجب على المهندس التحكم فى صب الخرسانة؛ حتى نقلل من التأثيرات السلبية على الخرسانة.

1- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة الطازجة:

إن الخرسانة يقل هبوطها اللحظى ويزداد فقد الهبوط مع الزمن، كما بالشكل (4ــ13)، ويلاحظ أن متطلبات ماء الخلط تزيد فى الجو الحار.



شكل (4-13) شكل تخطيطى يوضح تأثير الجو الحار على فقد الهبوط مع الزمن

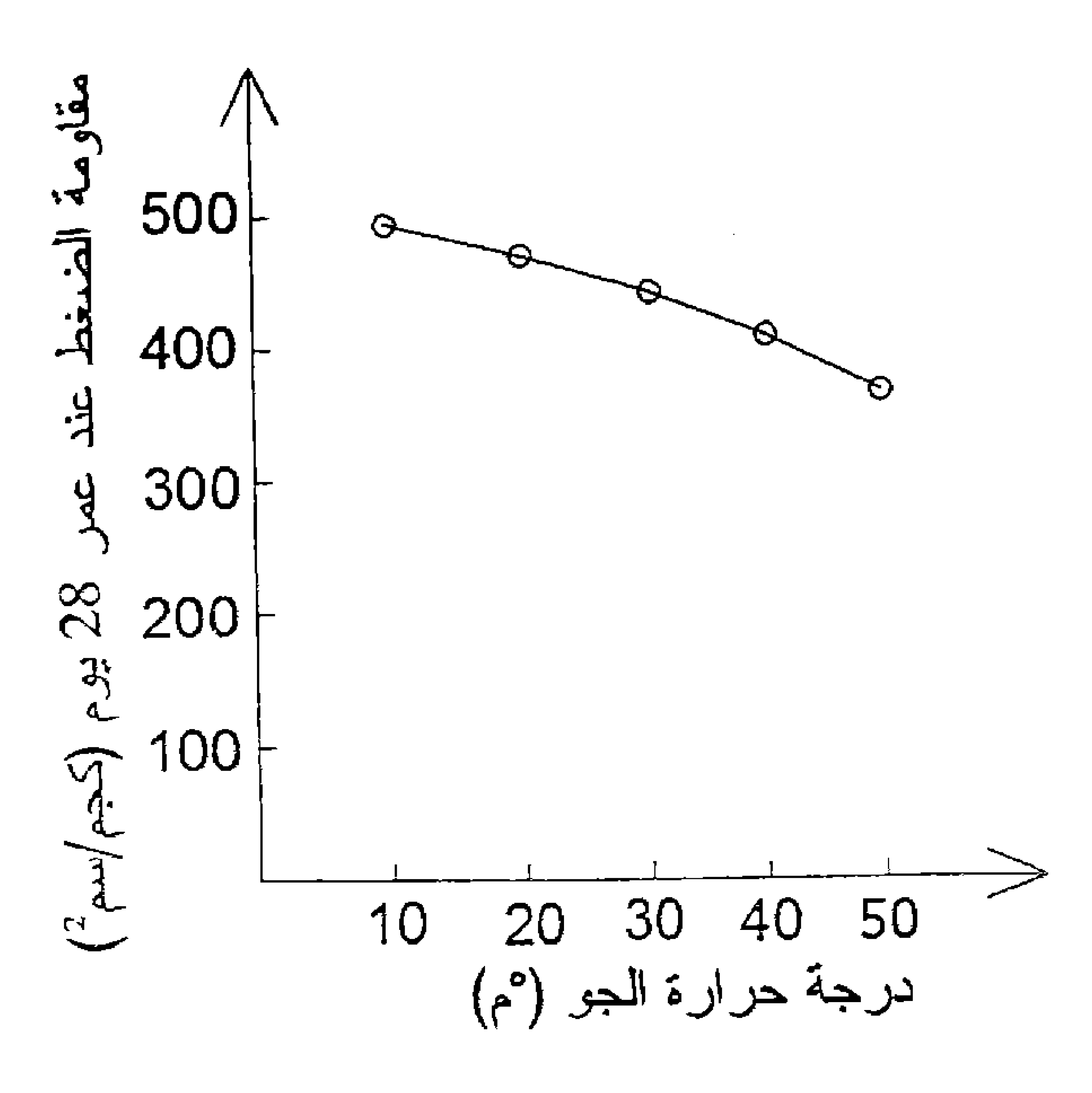
2- تأثير الجو الحار على الخرسانة الخضراء:

إذا تركت الخرسانة فى الجو الحار بعد صبها دون معالجة، فتجف الخرسانة وتتعرض لانكماش مبكر؛ يؤدى الى ظهور شروخ بها تقلل من تحمليتها.

3- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة المتصلدة:

يؤدى الجو الحار لزيادة مقاومة الخرسانة المبكرة؛ نظراً لزيادة معدلات التفاعل بين الأسمنت والماء، أما مقاومة الضغط عند 28 يوم و 90 يوم فى حالة إهمال أخذ احتياطات كافية، فإنها تقل مع زيادة درجة الحرارة، وهذا النقصان يكون أكبر من 20% بالمقارنة بالأجواء العادية، وربما يعود ذلك إلى عدم انتظام تكون جل الأسمنت

المتكون مبكراً نتيجة الجو الحار والتأثيرات السلبية على خواص الخرسانة الطازجة، انظر شكل رقم (4ـ14).



شكل (4-14) تأثير درجة الحرارة المحيطة على مقاومة ضغط الخرسانة

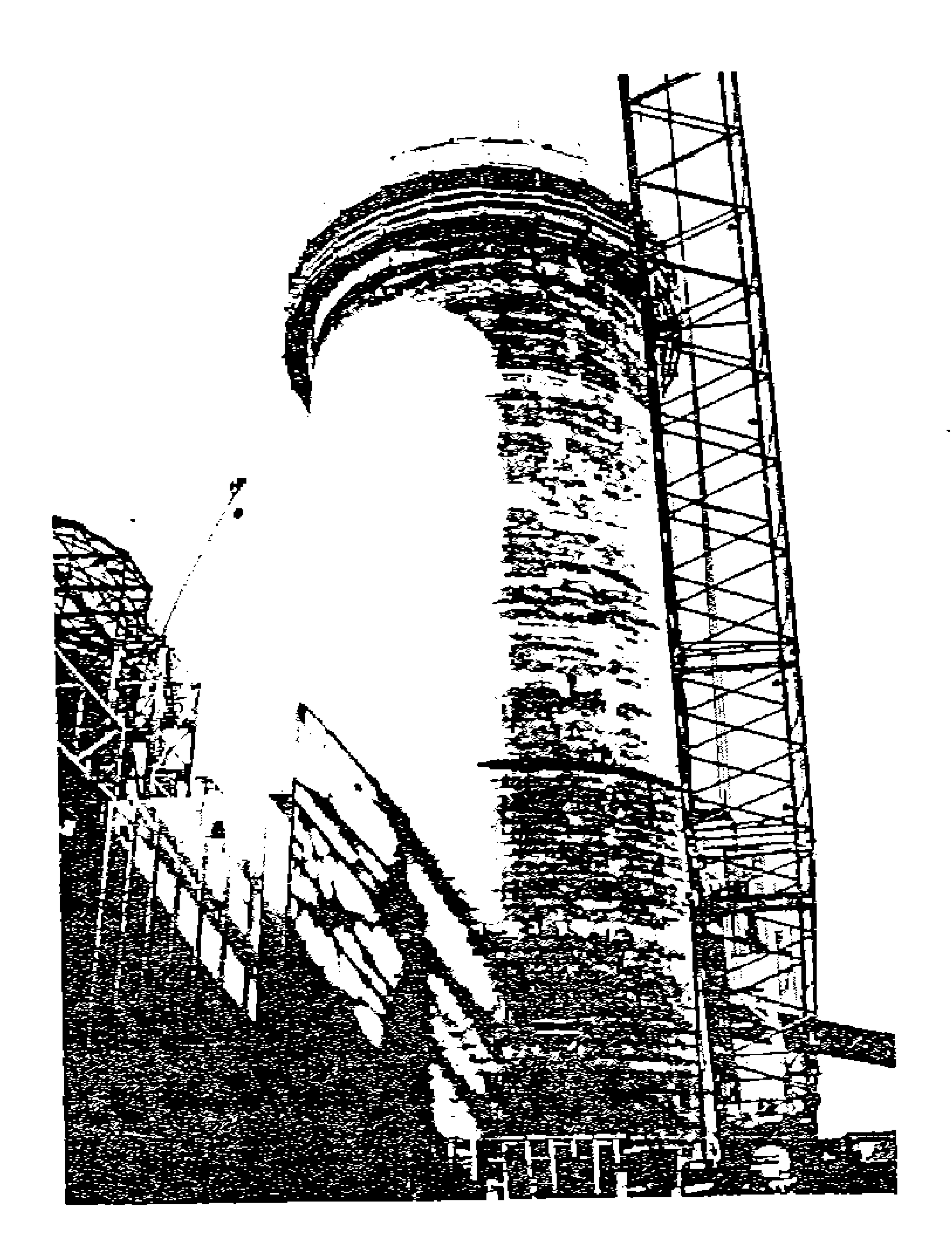
*** الإحتياطات:**

يجب على المهندس أن يراعى ما يلى:

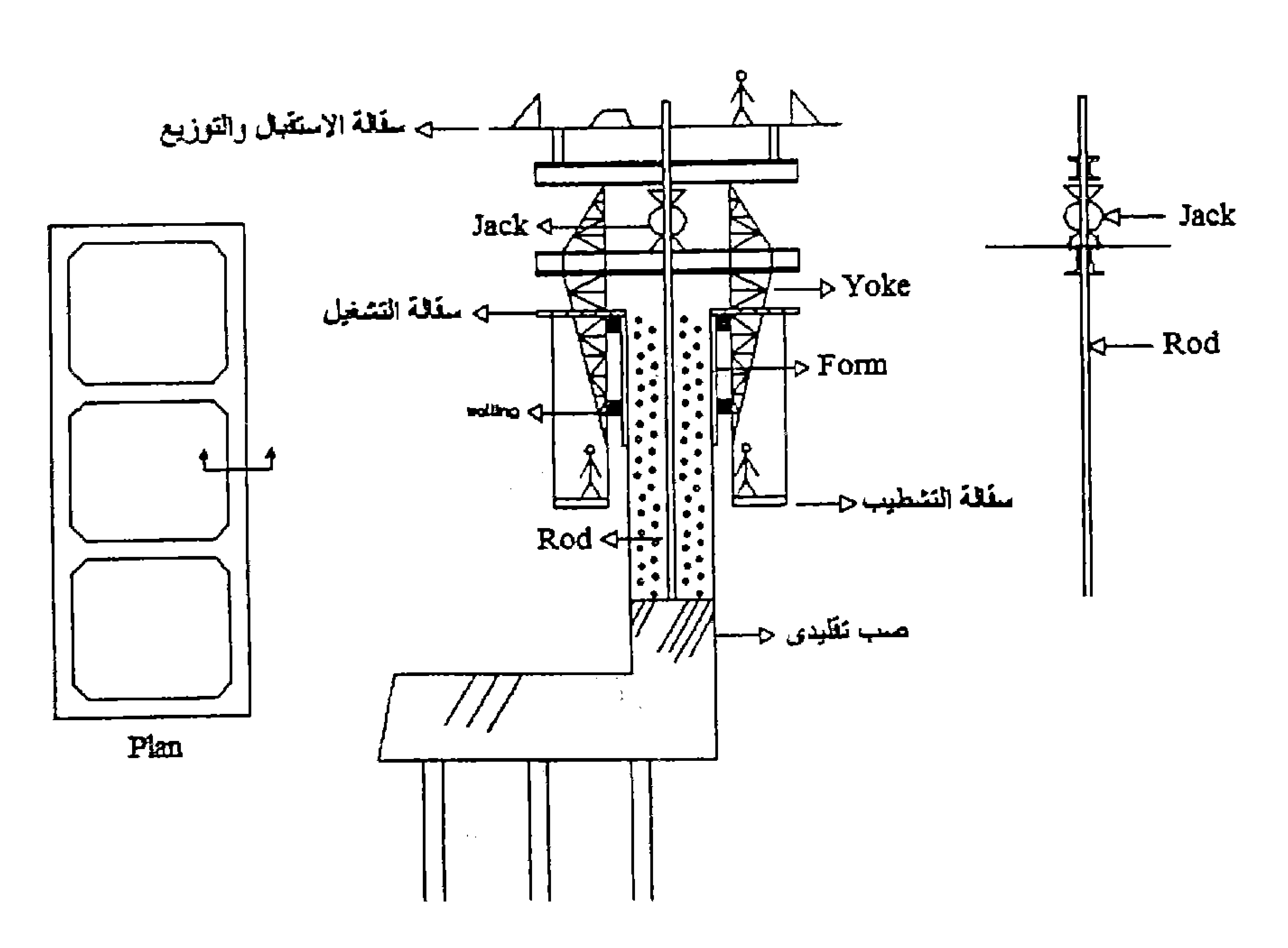
- لاتزيد درجة حرارة الخرسانة الطازجة عن 35 درجة مئوية.
- عمل مظلات للركام.
- دهان المعدات بلون أبيض.
- استخدام ماء مبرد أو ثلج كجزء من ماء الخلط.
- الاهتمام بفرش ألواح بلاستيك (بولى إثيلين) على سطح الخرسانة بعد الخلط مباشرة.
- الإسراع بالمعالجة.
- إضافة ألياف فى القطاعات الغير مسلحة لتحمل إجهادات الشد الناشئة عن الانكماش، وتُستخدم ألياف البولى بروبيلين بكفاءة فى تلك الحالة، وقد تم استخدامها فى تبطين الترع بمشروع توشكى بكفاءة.

4ـ3ـ3ـ5 صب الخرسانة بالشدات المنزلقة:

شكل رقم (4ـ15ـ أ) يوضح أحد المنشآت (صومعة) التى يستخدم فيها الشدة المنزلقة.

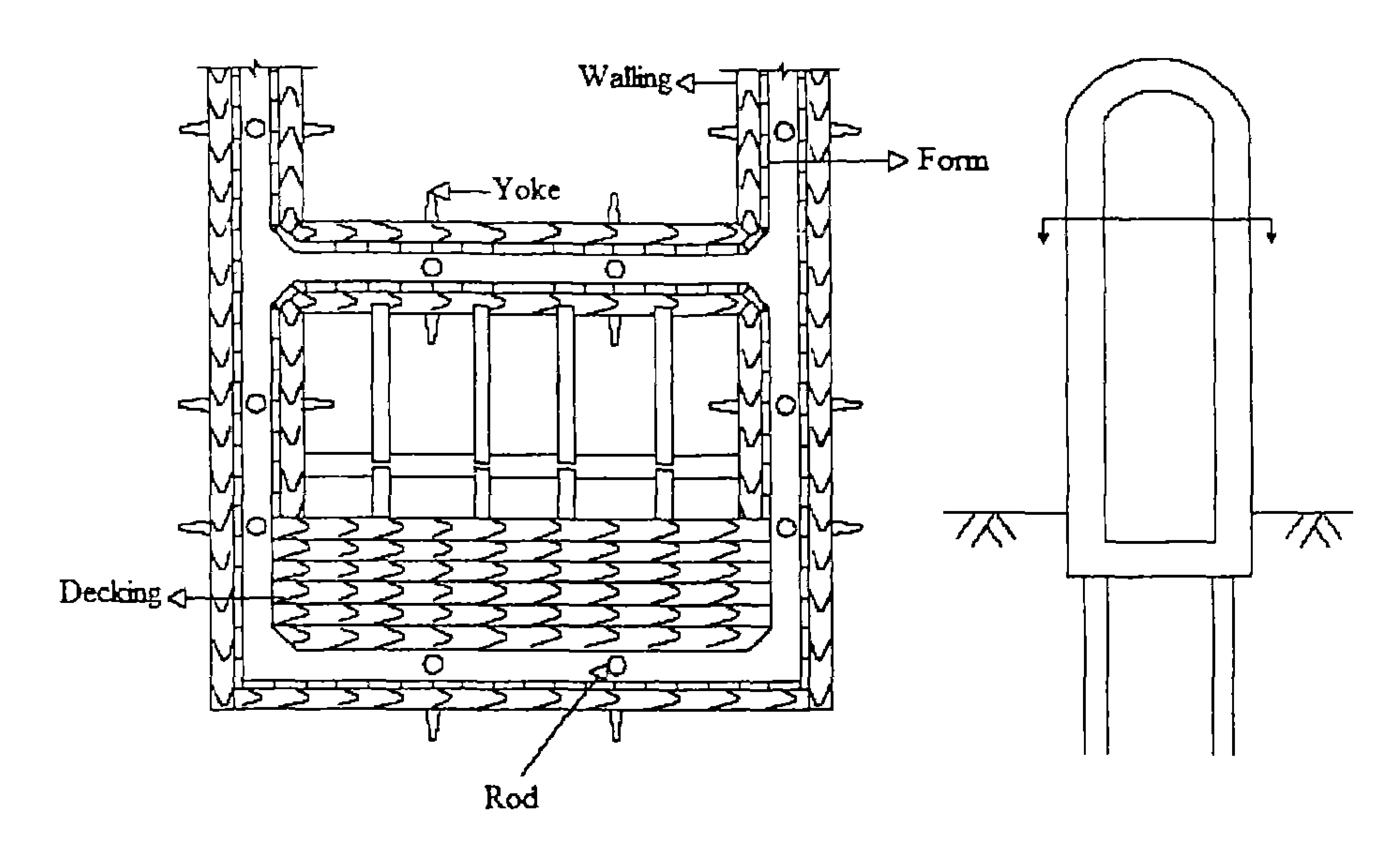


شكل رقم (4ـ15ـ أ) مثال لأحد المنشآت المستخدم فيها الشده المنزلقه



شكل (4ـ15ـ ب) مسقط أفقى لصومعه وقطاع رأسى موضح عليه تركيب الشده المنزلقه .

شكل رقم (4ـ15ـ ب) يوضح قطاع رأسى فى الشدة المنزلقة لأحد حوائط صومعه وتفصيله لقضيب الإرتكاز والمضخه .



شكل رقم (4ـ16) يوضح مسقط أفقي لترتيب اجزاء الشدة المنزلقه.

- مقدمة:

صب الخرسانة بإسلوب الشدات المنزلقة هو عبارة عن صب خرسانة داخل شدات قادرة على الحركة وبعد فترة معينة تترك الخرسانة بعد شكها و بحيث تكون الخرسانة قادرة على تحمل وزنها و تكون فى مرحلة التصلب. وهذه الشدات إما أن تنزلق فى الاتجاه الرأسى فتعطى امتداد للخرسانة المصبوبة فى هذا الإتجاه وتسمى عند ذلك بالشدات المنزلقة الرأسية وتستخدم فى صب الصوامع وقلوب المنشآت العالية وبغلات الكبارى، أو تنزلق فى الاتجاه الأفقى فتسمى بالشدات المنزلقة الأفقية وتستخدم فى تبطين قنوات الرى والصرف.

- المكونات الرئيسية للشدات المنزلقة:

1. شدة رأسية من الخشب أو أى مادة أخرى بارتفاع محدود حوالى 1.3متر (شدة الخرسانة) وهى تعمل كوعاء لصب الخرسانة فى داخلها.
2. مجموعة أذرع قوية من الصلب تحتضن الشدات السابقة وتسحبها معها لأعلى فى حالة حركتها.
3. قضيب الارتكاز: وهو قضيب من الصلب عالى المقاومة تنزلق عليه مضخة هيدروليكية (Hydraulic Jack).
4. السقالات (Platforms):

- سقالة الاستقبال و التوزيع: وهى تكون أعلى من شدة الخرسانة بحوالى 1.8متر ويستخدمها العمال وتستخدم كذلك فى التشوين الخفيف.
- سقالة التشغيل: وهى ترتكز على شدة الخرسانة وترص حولها، ويستخدمها الحدادون فى رص الصلب ويستخدمها عمال الصب فى صب الخرسانة.

- سقالة التشطيب: وهى تعلق أسفل شدة الخرسانة ويستخدمها العمال في معالجة الخرسانة وكذلك فى تشطيب أى عيوب فى الخرسانة.

5. المضخة الهيدروليكية: وهى مضخة مزودة بمجموعة مكابس وترتكز على قضيب الارتكاز وهى مزودة بقمطة علوية وقمطة سفلية، والقمطة السفلية تمسك فى مجموعة الأذرع ومما هو جدير بالذكر أن مجموعة الأذرع تكون فى اسفلها ممسكة بكمرتين على هيئة حرف C ،ويمكن تلخيص عمل المضخة الهيدروليكية فيما يلي:

1. تمسك القمطة العلوية للمضخة بقضيب الارتكاز.
2. تكون القمطة السفلية حرة ونتيجة تشغيل ضغط الزيت تقفز وتتحرك لأعلى حاملة معها الأذرع وشدة الخرسانة والسقالات.
3. تنعكس دورة الزيت فتمسك القمطة السفلية بالقضيب ومعها مكونات الشدة المنزلقة وتتحرر القمطة العلوية من القضيب لتقفز لأعلى مع ضغط الزيت.
4. تتكرر الدورة السابقة عدة مرات فتنزلق المضخة بسرعة متوسطة (30سم/ساعة) وهكذا تتحرك المضخة لأعلى أثناء صب الخرسانة لتترك الخرسانة بعد حوالى 4.5 ساعة بعد شكها الابتدائى ودخولها مرحلة الشك النهائى.

- طريقة التشييد:

1. يتم صب الأساسات بالطريقة التقليدية.
2. يتم صب جزء من الحوائط بالطريقة التقليدية.
3. يتم رص الشدة كما هو مبين فى شكلى (4-15- ب) و(4-16)، وكما هو موضح بالأشكال يتضح أن كل خلية (Silo) تحتاج لعدة مضخات وعدة قضبان كما أن المضخات الصغيرة المرتكزة على القضبان تتصل بخراطيم بمضخة مركزية توضع أعلى شدة الاستقبال للتحكم فى ضخ الزيت فى المضخات المختلفة لكى تتحرك كلها بسرعة واحدة حاملة معها الشدات والسقالات.
4. يتم صب الخرسانة فى الشدة لكامل المقطع الأفقى على هيئة طبقات سمك الطبقة حوالى 10سم ويتم تشغيل المضخات لتتحرك الشدات وبعد فترة حوالى 4.5 ساعة تكون الخرسانة مكشوفة فى الهواء بعد شكها.
5. يتم تتابع الصب و الانزلاق من بداية المنشأ إلى نهايته حيث يتم العمل 24 ساعة فى الموقع وبأخذ معدل انزلاق 30سم/ساعة فإنه يتم صب حوالى 7متر فى اليوم، ويكون صب المنشأ متكامل مرة واحدة بدون فواصل.
6. فى الجو الحار يجب زيادة معدل الصب لتصل إلى حوالى 60سم/ساعة مع استخدام مواد مؤجلة لشك الأسمنت إن تطلب الأمر، وفى الجو البارد يتم إبطاء معدل الانزلاق ليصل إلى حوالى 20سم/ساعة مع استخدام مواد معجلة لشك الأسمنت.

- ملاحظات:

1. يجب توفير إنارة قوية فى الموقع.
2. يجب توفير 3 ورديات عمل على الأقل فى اليوم.
3. يجب الحرص على صب الخرسانة على هيئة طبقات سمكها صغير حتى تشك معاً.
4. يجب توفير مضخة مع ونش لرفع الخرسانة وصلب التسليح والعمالة لأعلى.

2. يجب وضع علبة معدنية مغلقة مدهونة بالزيت من الخارج فى داخل شدة الخرسانة فى أماكن الفتحات المطلوبة فى المنشأ ويستخرجها عمال التشطيب عند ظهورها.
3. يجب التأكد من أفقية سقالة التشغيل باستخدام الموازين والأجهزة المساحية والتأكد من رأسية المنشأ باستخدام الأجهزة المساحية وتعليق أثقال بحبال من السقالات لمراقبتها للحكم على رأسية شدة الخرسانة.
4. فى حالة الرغبة فى سحب قضيب الارتكاز من الخرسانة بعد انتهاء التشييد والذى يورد على هيئة وصلات يتم تركيبها بقلاووظ، يقوم المهندس بوضعه فى ماسورة من الPVC قطرها الداخلى أكبر من قطر القضيب بملليمترات.
5. يجب وجود معدات احتياطية أثناء التنفيذ.
6. يجب على المهندس التخطيط الجيد لكيفية فك الشدة عند نهاية التنفيذ وكيفية صب الصومعة إن وجد.
10. هذه الطريقة اقتصادية فى المنشآت العالية.

4ـ3ـ3ـ6 صب الخرسانة بالشدات النفقية وبواكى الصلب الكبيرة:

وفكرة هذه الشدات هو عمل شدات من أخشاب الأبلاكاج أو الصلب تغطى باكية كاملة لصب حائط مسلح أو بلاطات على هيئة بواكى ولذلك تستخدم هذه الشدات فى المبانى المتكررة وحالياعلى مستوى العالم يتم استخدام شدات نصف نفقية (تغطى شدة الحائط ونصف البلاطة وهى على هيئةحرف L مقلوب) وتستخدم كذلك الشدات النفقية (تغطى شدة البلاطة والحائطين الحاملين لها و هى على هيئة حرف C مقلوب).

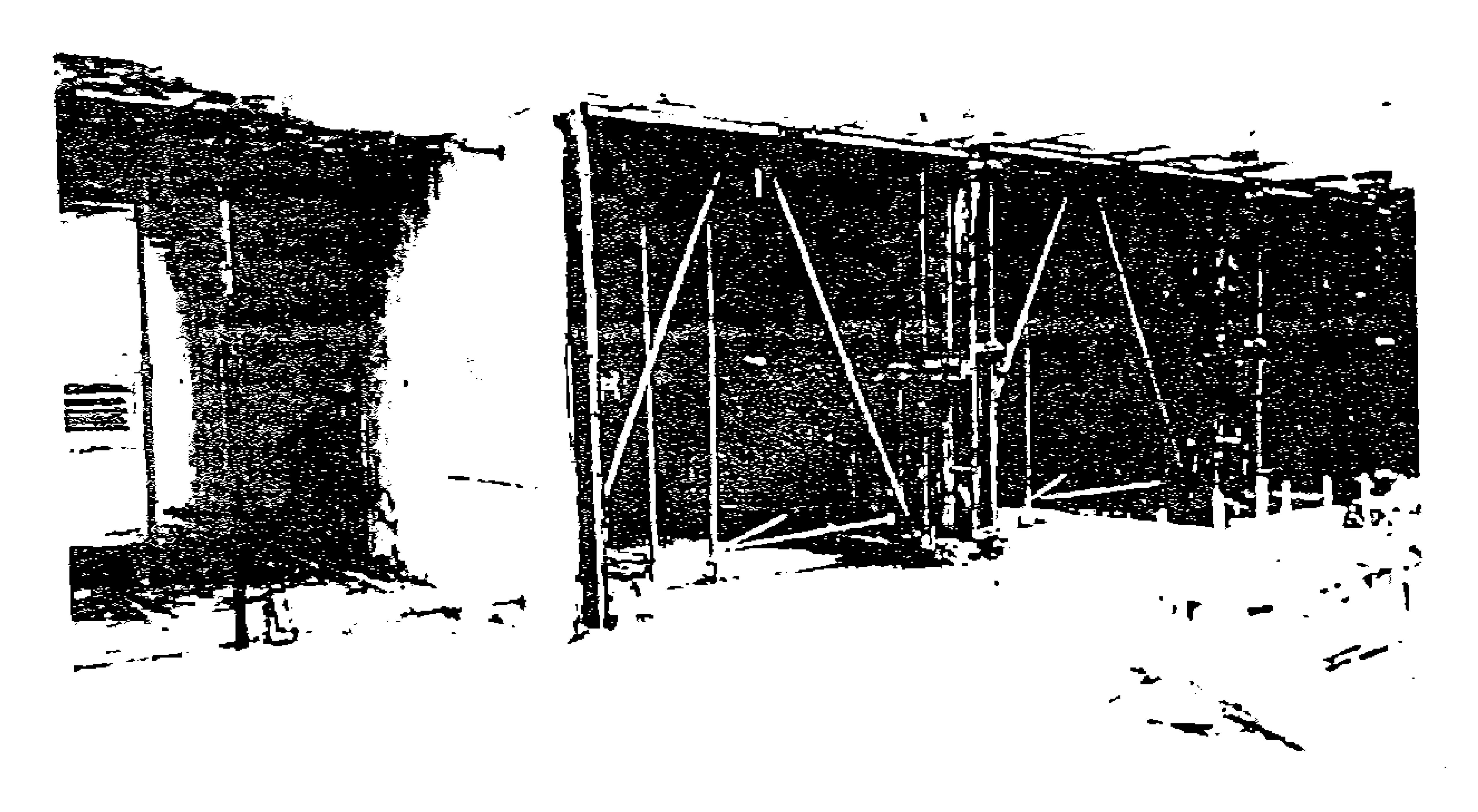
يتم رص الشدات للطابق الواحد سواءً أكانت شدة حائط أو شدة بلاطة أو شدة نصف نفقية أو شدة نفقية.

يتم رص صلب التسليح للحوائط و البلاطات والذى يكون على هيئة شُبك ملحوم لأسياخ فى اتجاهين متعامدين.

يتم صب الخرسانة وعينات على هيئة مكعبات فى الشدات السابقة ويتم تعجيل شك الخرسانة بإضافة مواد معجلة للخرسانة أو إمرار تيار ماء ساخن فى مواسير تحيط بالشدات.

يتم فك الشدات بطرق خاصة بعد مرور 24 ساعة من صب الخرسانة (يتم اختبار العينات الموضوعة مع السقف للتأكد من تحقيق الخرسانة للمقاومة المطلوبة لفك الشدات).

يتم نقل الشدات بونش للطابق الجديد حيث يتم صب سقف كل 24 ساعة أو 48 ساعة على الأكثر وشكل (4ـ17) يوضح صورة لأحد هذه الأنظمة.



شكل (4ـ17) شدة نفقية

وسيتم مناقشة هذا الأسلوب بالتفصيل في الطبعات اللاحقة.

4ـ3ـ4 دمك الخرسانة:

ويقصد به محاولة الحصول على أعلى كثافة للخرسانة؛ عن طريق نقل طاقة خارجية للخرسانة الطازجة، مما يسهل تحركها لملء الفراغات، ويتم الدمك إما:

1- يدوى: للخرسانة ذات التشغيلية العالية.

2- ميكانيكى: باستخدام هزازات داخلية (ذات زمبة) أو هزازات خارجية تقوم بدمك العضو الخرسانى.

ويجب أن تتم عملية الدمك بطريقة صحيحة بحيث لايحدث نزيف للخرسانة.

ويجب أن يكون قطر الزمبة مناسب للمسافة الخالصة بين حديد التسليح، ويجب الدمك على خطوات فى الاتجاه الطولى بحيث تكون المسافة بين كل خطوة لا تزيد عن مرة و نصف قطر تأثير الهزاز، كما يجب الدمك على طبقات الصب بحيث لا تشك الطبقة السفلية قبل دمك الطبقة العلوية، حيث يجب أن يخترقها الهزاز.

ويُلاحظ أن دمك الخرسانة له عدة فوائد منها:

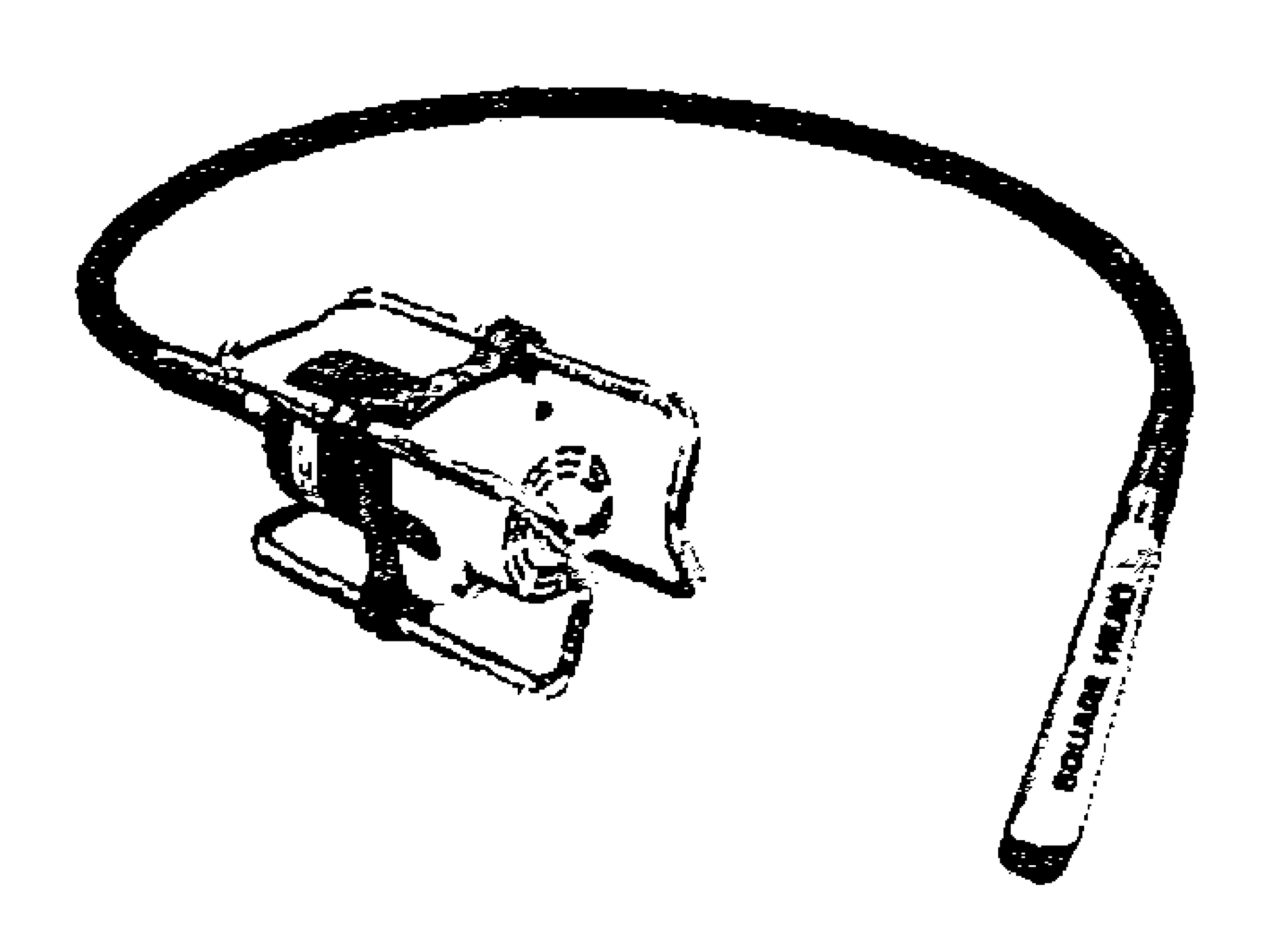
1- زيادة وحدة وزن الخرسانة وإقلال الفراغات.

2- السماح بتخفيض محتوى الماء المستخدم، وبالتالى رفع المقاومات للخرسانة.

3- السماح بتخفيض محتوى الرمل، وما يتبعه من تحسن فى مقاومة ضغط الخرسانة.

4- فى حالة وجود هزازات قوية، فإن تخفيض ماء الخلط يسمح بتوفير الأسمنت لنفس مقاومة الضغط.

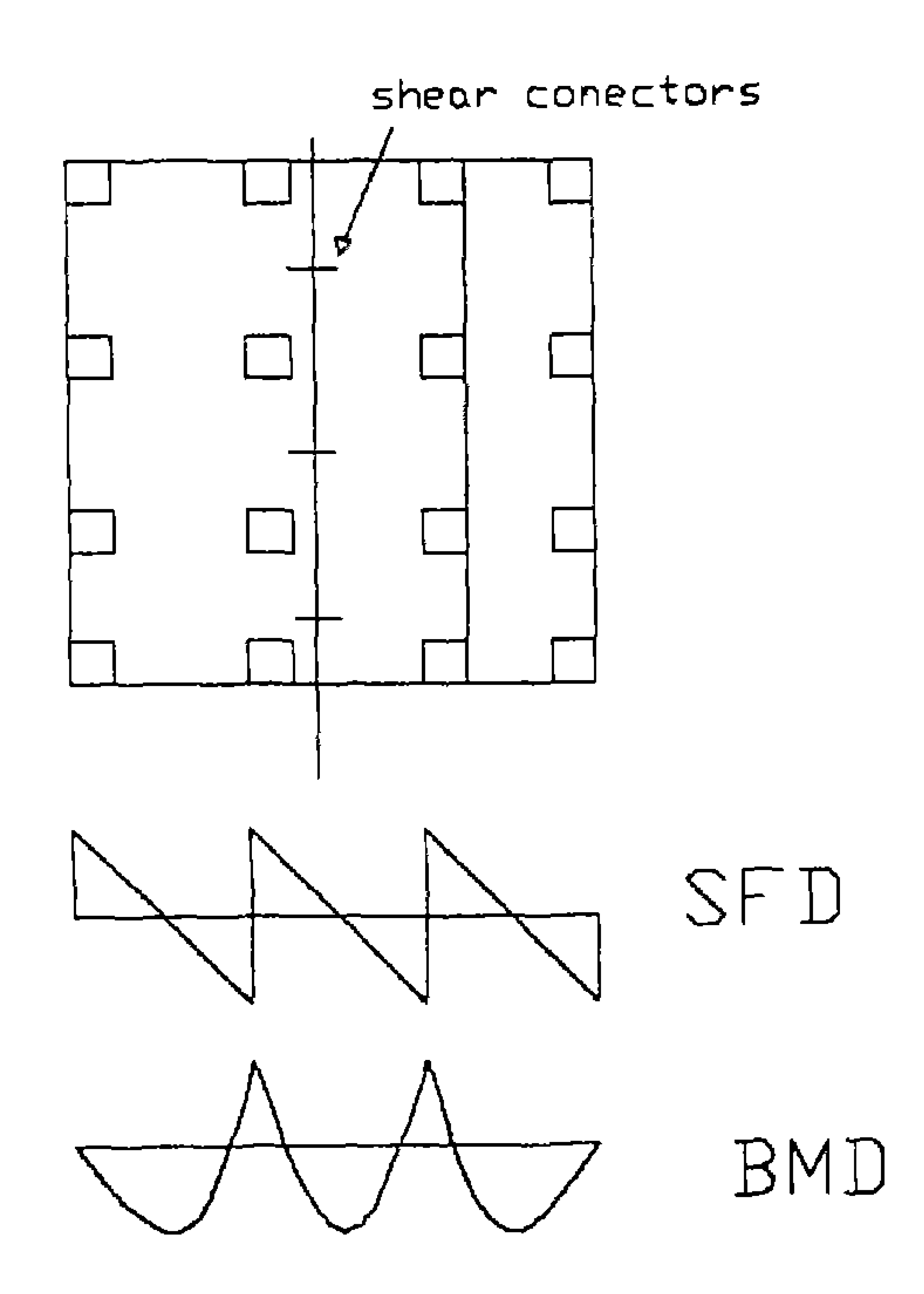
وشكل (4ـ18) يوضح صورة لأحد الهزازات الداخلية.



شكل (4ــ18) صورة لأحد الهزازات الداخلية

4ــ3ــ5 فواصل الصب:

والمقصود بها الأماكن التى سيتم إيقاف الصب عندها بعد انتهاء يوم العمل، أو إذا كان هناك احتمال لانتهاء مادة من مكونات الخرسانة. يقوم المهندس بحساب معدلات الصب اليومية، وبناءً عليها يحدد مسبقاً أماكن فواصل الصب، ويُفضل دائماً أن تكون فى الأماكن التى بها أقل قوى قص وبالقرب من نقاط انقلاب العزوم، ويُفضل دائماً أن يقوم المهندس بوضع أجزاء صغيرة من أسياخ التسليح فى الخرسانة لتعمل كوصلات قص (Shear Connector)، انظر شكل رقم (4ــ19).



شكل (4-19) شكل تخطيطى يوضح أماكن فواصل الصب

4-3-6 فواصل التمدد والانكماش:

يجب على المهندس أن يسمح للمنشأ بالتمدد والانكماش نتيجة العوامل الجوية، وإلا تتولد إجهادات يجب عليه أن يدخلها فى التصميم الإنشائى، ويتطلب الكود المصرى للمنشآت الخرسانية أن يترك فاصل تمدد فى الأجواء الحارة كل مسافة لا تزيد عن 30 ـ 35 متر، ولا تزيد عن 40 ـ 45 متر فى الأجواء المعتدلة.

وتمثل الأسوار حالة خاصة، حيث مفضل أن ألا تزيد المسافة عن 20 متر، ويجب على المهندس عمل فصل فى الأعمدة والكمرات، ولا يفضل عمل فصل فى القواعد؛ حيث تكون هناك قاعدة واحدة لعمودين، ويجب وضع مادة فى الفاصل، ويجب أن تكون هذه المادة تتميز بالمرونة العالية لتتحمل دورات التمدد والانكماش.

ويجب اختبار تلك المواد بحيث تكون قابلة على تحقيق انضغاط مرن معين قياسى من سمكها، ثم تكون قادرة على استرجاع الانضغاط بعد زوال الحمل من عليها، وتحسب المسافة بين فواصل التمدد Δlt كما يلى:

$$\Delta lt = F\Delta l$$

$$\Delta l = \acute{\alpha}\ lo\ .\ \Delta t$$

Δl الاستطالة الناتجة من التمدد.

$\acute{\alpha}$ معامل التمدد الحرارى.

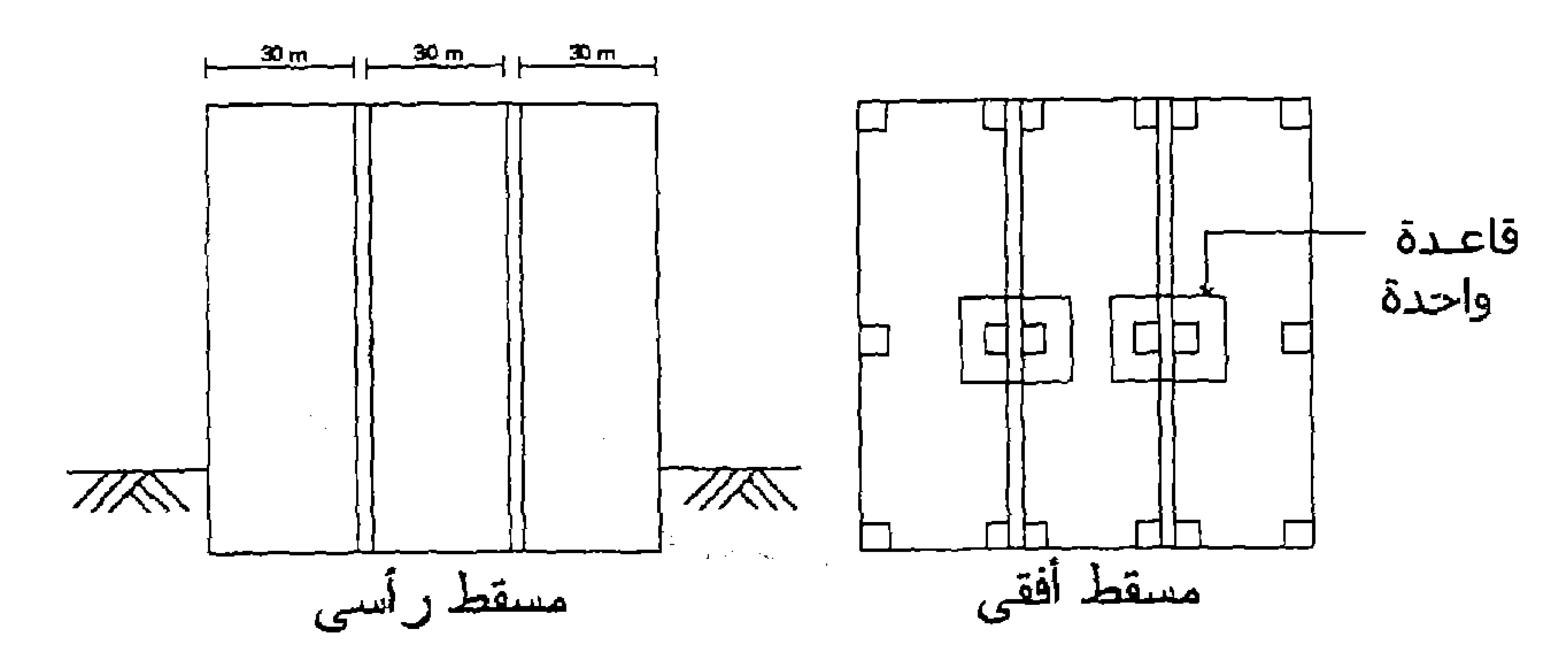
Lo طول الجزء من المبني بين فواصل التمدد.

Δt الفرق في إرتفاع درجة الحرارة.

F معامل تكبير يتوقع علي حالة الجو ونوع المنشأ.

ويجب على المهندس إغلاق الفاصل من أعلى المبنى بحيث لا تتسرب مياه الأمطار إلى داخل المبنى.

يجب على المهندس الاهتمام جداً بفواصل التمدد للكبارى، والحرص على اختيار أفضل المواد لملء تلك الفواصل، وعمل صيانة دائمة له، وأى تلف فى تلك الفواصل يُعرِّض المنشآت لتسرب ماء المطر، مما ينشر الرطوبة فى المبنى ويعجل معدلات صدأ صلب تسليح المبنى، وشكل (4ـ20) يوضح ما يتعلق بفواصل التمدد.



شكل (4-20) شكل تخطيطى يوضح فواصل التمدد

4ـ4 مرحلة الخرسانة الخضراء والمتصلدة:

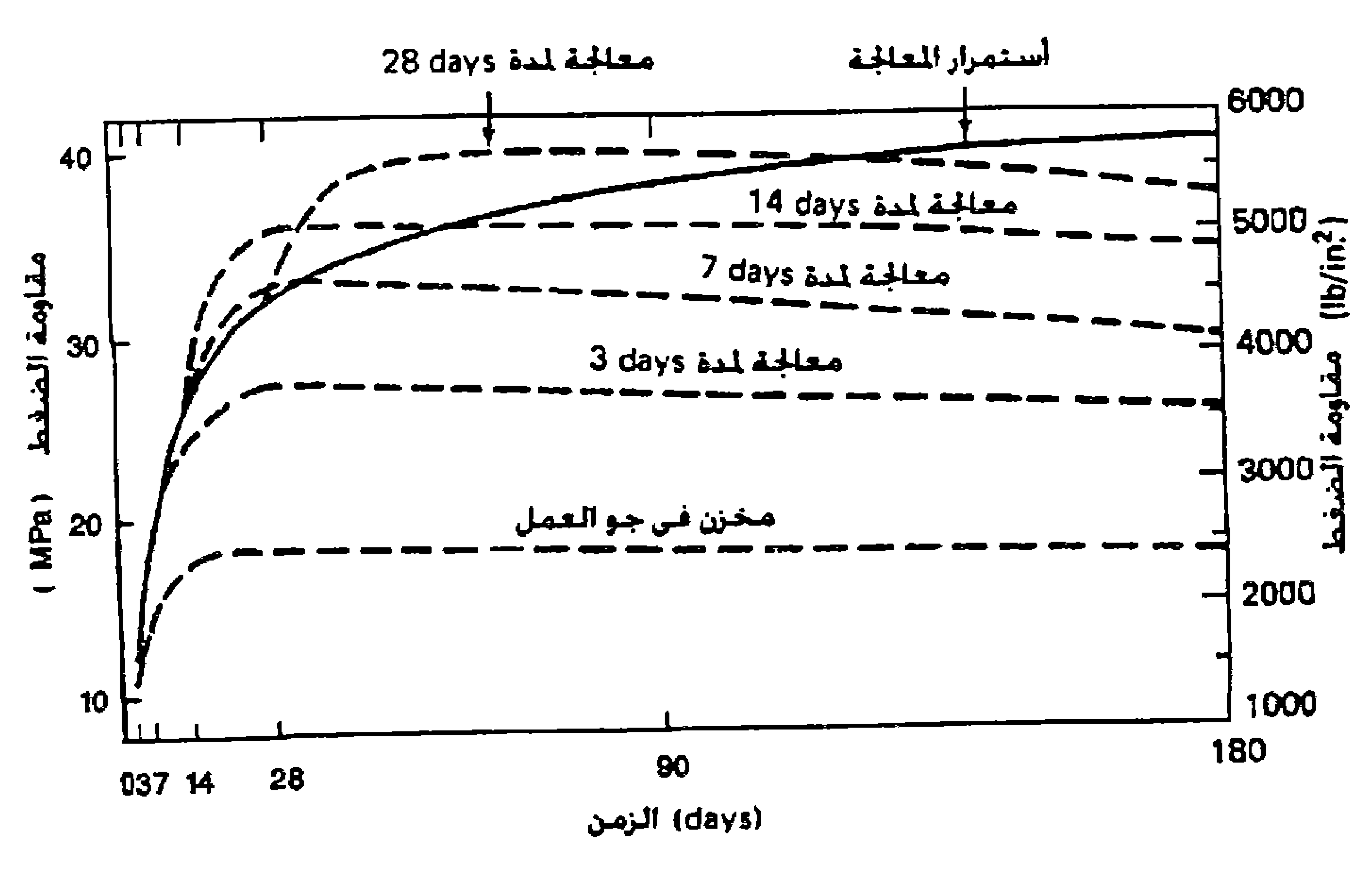
وتشمل عملية المعالجة وإزالة الفرم ومعالجة عيوب الصب.

4ـ4ـ1 المعالجة:

بعد صب الخرسانة، تبدأ الخرسانة فى الشك والتصلد، وتبدأ فى فقد ماء نتيجة العوامل الجوية من ارتفاع درجة الحرارة ونقص فى الرطوبة والرياح. ولتقليل وتأخير حدوث الإنكماش وبالتالي منع وإقلال شروخ الانكماش وتعويض الماء اللازم لتفاعل الأسمنت، يجب معالجة الخرسانة وتتم معالجة الخرسانة عن طريق:

- رش الخرسانة بالمياه.
- التغطية بالخيش أو الرمل المبلل.
- دهان الخرسانة بمادة عازلة؛ ويجب أن تحقق تلك المادة اشتراطات المواصفات القياسية لمنع تبخر المياه.
- المعالجة بالبخار؛ ويستخدم فى مصانع الخرسانة سابقة التجهيز.

يوضح شكل (4ـ21) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.



شكل (4ـ21) تأثير نوع المعالجة على العلاقة بين مقاومة الضغط و الزمن والشكل يوضح أن المعالجه تسبب تحسن مقاومة الضغط حتى لو لم تبدأ المعالجه مبكراً .

4ـ4ـ2 إزالة الفرم:

يتم فك الشدة عندما تصل مقاومة الخرسانة إلى قيمة تمكن العضو الخرسانى من تحمل الإجهادات الناشئة عن وزنه، أو أى أحمال ناتجة عن خطوات التشييد اللاحقة. ويجب التأكد من عدم حدوث ترخيم أو تشكل كبير. ويمكن حساب الزمن الذى يمكن فك الشدات للقطاعات المعرضة لعزوم انحناء بالتقريب من المعادلات الآتية (طبقاً للكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية):

نوع الأسمنت	بورتلاندي سريع التصلد	بورتلاندي عادي
كمرات أو بلاطات	$t = L_B + 1$	$t = 2L_B + 2$
كابولي	$t = 2L_c + 1$	$t = 4L_c + 1$

حيث L_B بحر الكمره أو البلاطة و L_C بحر الكابولي، t قيم الزمن باليوم اللازم لفك الشدة.

يتم فك الشدة للأعضاء المعرضة للضغط مثل الأعمدة والحوائط بعد مرور 24 ساعة من الصب، ومن المهم التأكيد على أن يقوم المهندس باختبار شك الخرسانة يدوياً بعد مرور يوم من الصب عن طريق دق مسمار صلب بها للتأكد من شكها الظاهرى وذلك فى حالة عدم وجود عينات لاختبارها فى مقاومة الضغط وكمثال لو سقف بحر كمراته 6 متر فيتم فك الشدات بعد 14 ، 7 أيام لو أستخدم أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت سريع التصلد على الترتيب .

4-4-3 معالجة عيوب الصب:

بعد فك الشدات يجب على المهندس التفتيش على الخرسانة، ورصد عيوب الصب وترميمها؛ والتى تنحصر فيما يلى:

1- حدوث تعشيش بالقطاعات الخرسانية:

وتعالج بواسطة النحت لإظهار مكان التعشيش وتنظيفها ورشها بالماء والمعالجة بمونة أسمنتية غنية (3 رمل خشن: 1 أسمنت + ماء كاف للتشغيل ويمكن استخدام إضافة لتحسين التشغيلية).

2- حدوث فجوات ذات حجم كبير:

- يتم النحت لتحديد مكان الفجوة وتنظيفها.
- يتم عمل قالب حول الفجوة.
- يتم تشبيع الخرسانة بالماء قبل الصب بـ24 ساعة أو دهان الخرسانة بمادة لاحمة.
- يتم صب الفجوة بخرسانة من الزلط (مقاس اعتبارى أكبر 8/3 بوصة) والرمل والأسمنت والماء ومادة ملدنة.

3- حدوث بروز فى الخرسانة عن القطاع المعمارى:

يتم عمل جز لتلك الخرسانة إذا كانت خرسانة عادية، أما إذا كان البروز تبعةُ حركة فى صلب التسليح، فإنه يجب تسوية السطح بإضافة طبقات إضافية مع استخدام تسليح لتلك الطبقات.

4- ظهور حديد التسليح فى بعض الأماكن:

يتم تنظيف حديد التسليح ورشه بخليط غنى من الأسمنت والماء أو دهانه بإيبوكسى غنى بالزنك. يتم عمل غطاء سمكه لا يقل عن 2 سم من مونة الأسمنت الغنية.

الباب الخامس

تصميم الخلطات الخرسانية (Concrete Mix Design)

5ـ1 مقدمة:

المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية ، هو تحديد مكونات الخلطة من رمال وركام كبير وأسمنت وماء وإضافة إن لزم الأمر. وهذه الخلطة يجب أن تحقق الخواص المرغوبة فى كلا من الخرسانة الطازجة والخرسانة المتصلدة للمنشأ.

وحيث أن الركام لا يلعب دوراً أساسياً فى التأثير على مقاومة الخرسانة العادية الوزن ذات مقاومة ضغط مميزة أقل من 40 ن/مم^2، وذلك بعكس الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة الثقيلة، فإن مونة الأسمنت تلعب الدور الهام فى هذا الأمر. ومن المعلوم أن المادة الفعالة عند إماهة الأسمنت والماء هى سيلكات الكالسيوم المماهة، وهى ناتجة عن إماهة كلاً من ثالث وثانى سليكات الكالسيوم، وهذه المادة يطلق عليها جل الأسمنت. وهى تتميز باللدونة فى مرحلة الخرسانة الطازجة، وتتميز بكونها مادة شديدة الصلابة ثابتة كيميائياً فى حالة الخرسانة المتصلدة. وهذه المادة تعمل أساساً على ربط جزيئات الخرسانة بعضها ببعض. وكلما زاد تركيز جل الخرسانة، تحسنت جميع مقاوماتها وتحسنت تحمليتها. ويمكن التعرف على توزيع الفراغات والجل داخل الخلطة الخرسانية بفحص عينة من الخرسانة، كما هو موضح بشكل (5ـ1).

ومن الواضح من شكل (5ـ1ـ ب)؛ الذى يمثل توزيع الجل فى حالة نسبة ماء إلى أسمنت مرتفعة، أن تركيز الجل قليل، وأن الفراغات بها نسبة عالية متصلة ببعضها.

وفى حالة نسبة ماء إلى أسمنت منخفضة (مثل خلطة خرسانية بها نسبة الماء إلى الأسمنت = 0.4) من الواضح أن تركيز الجل فيها عالى، وأن الفراغات فيها أقل إتصالاً.

وبناءً على ماسبق يتضح أهمية نسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطة الخرسانية؛ حيث كلما قلت تلك النسبة، يزيد تركيز المادة الجامدة وتقل نسبة الفراغات المتصلة، وعليه تتحسن مقاومة الضغط وتحملية الخرسانة، ويتضح ذلك من شكل (5ـ2) الذى يوضح العلاقة بين w/c ومقامة الضغط لعدة دراسات سابقة.

وعلى هذا الأساس، استخدمت جميع الكودات العالمية نسبة الماء إلى الأسمنت كعامل أساسى؛ لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة وتحقيق تحملية مطلوبة للمنشأ لكى يخدم بأمان خلال عمره الافتراضى.

5ـ2 العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة:

يمكن تلخيص العوامل تلك فى الشكل (5ـ3) وتلك العوامل وتعتمد أساسا على خواص المواد المستخدمه فى الخلطه وطريقة التنفيذ ونوع الدمك وخواص المنشأ من جهة قطاعاته وتسليحه ومتطلبات المنشأ من جهة الظروف المحيطه به ومقاومة الضغط التصميمية له ومستوى الشركة المنفذه .

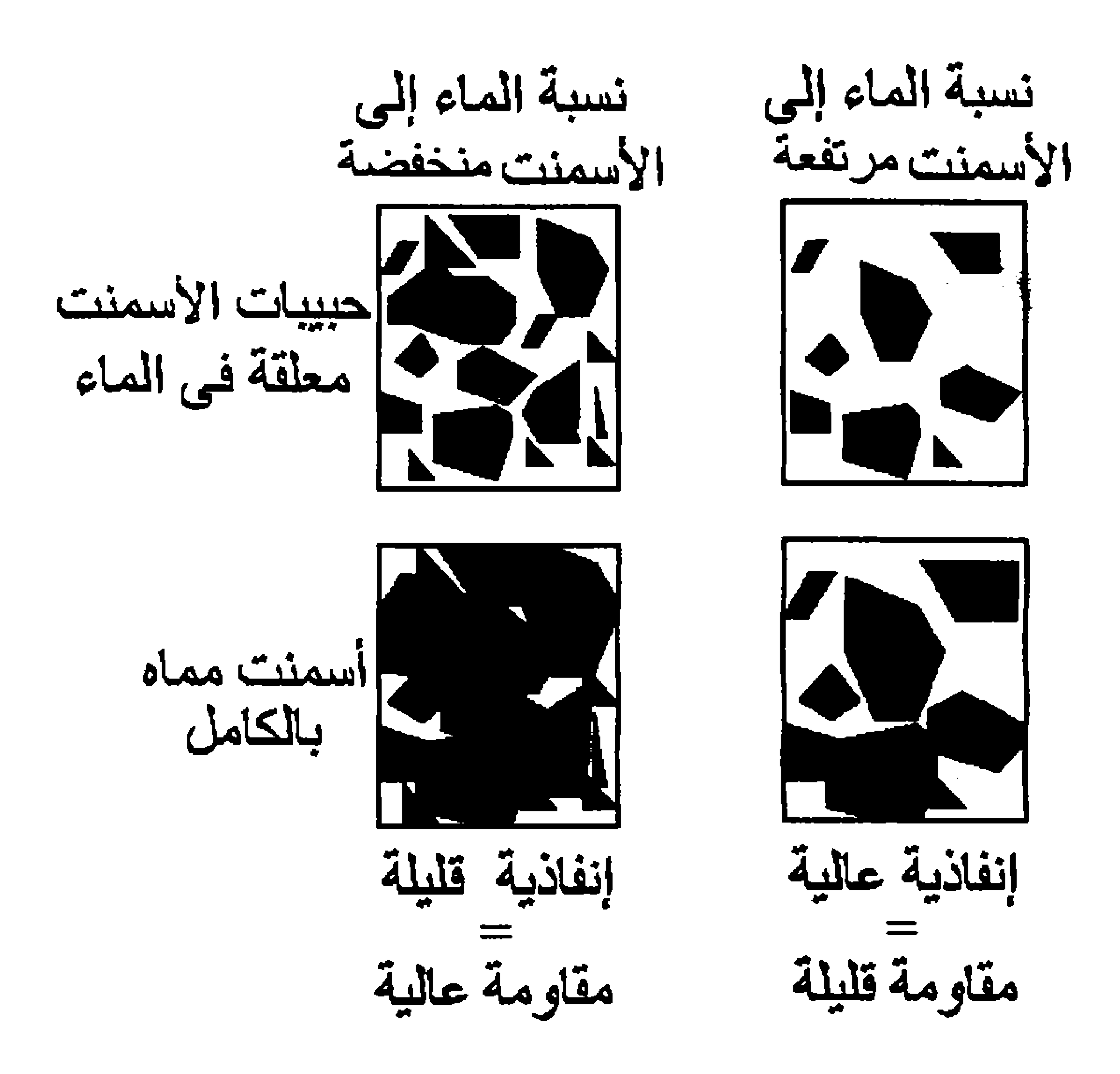
فراغات غير شعرية　　　فراغات شعرية

خرسانة
W/C=0.40
C=400 Kg/m3

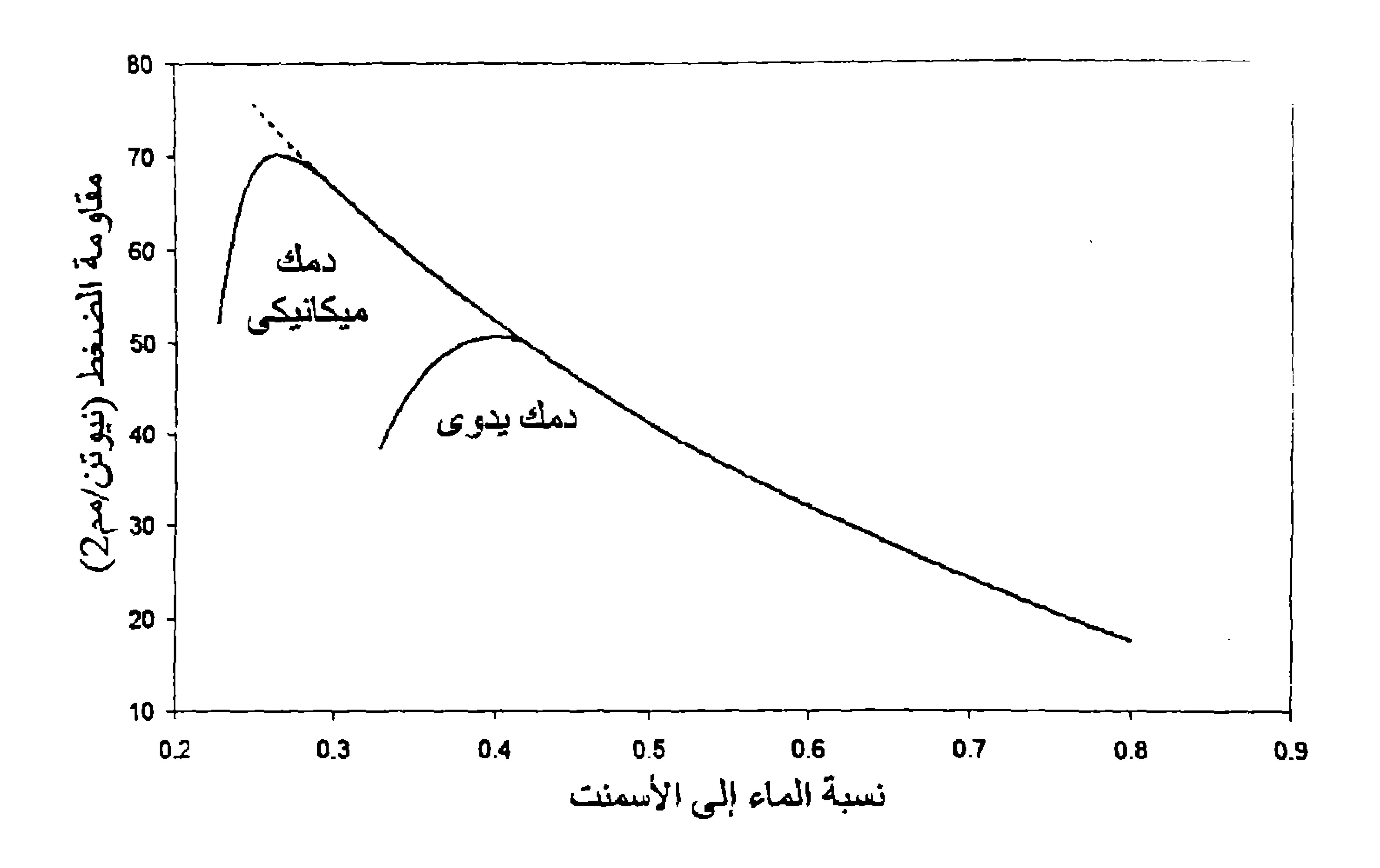
خرسانة
W/C=0.70
C=400 Kg/m3

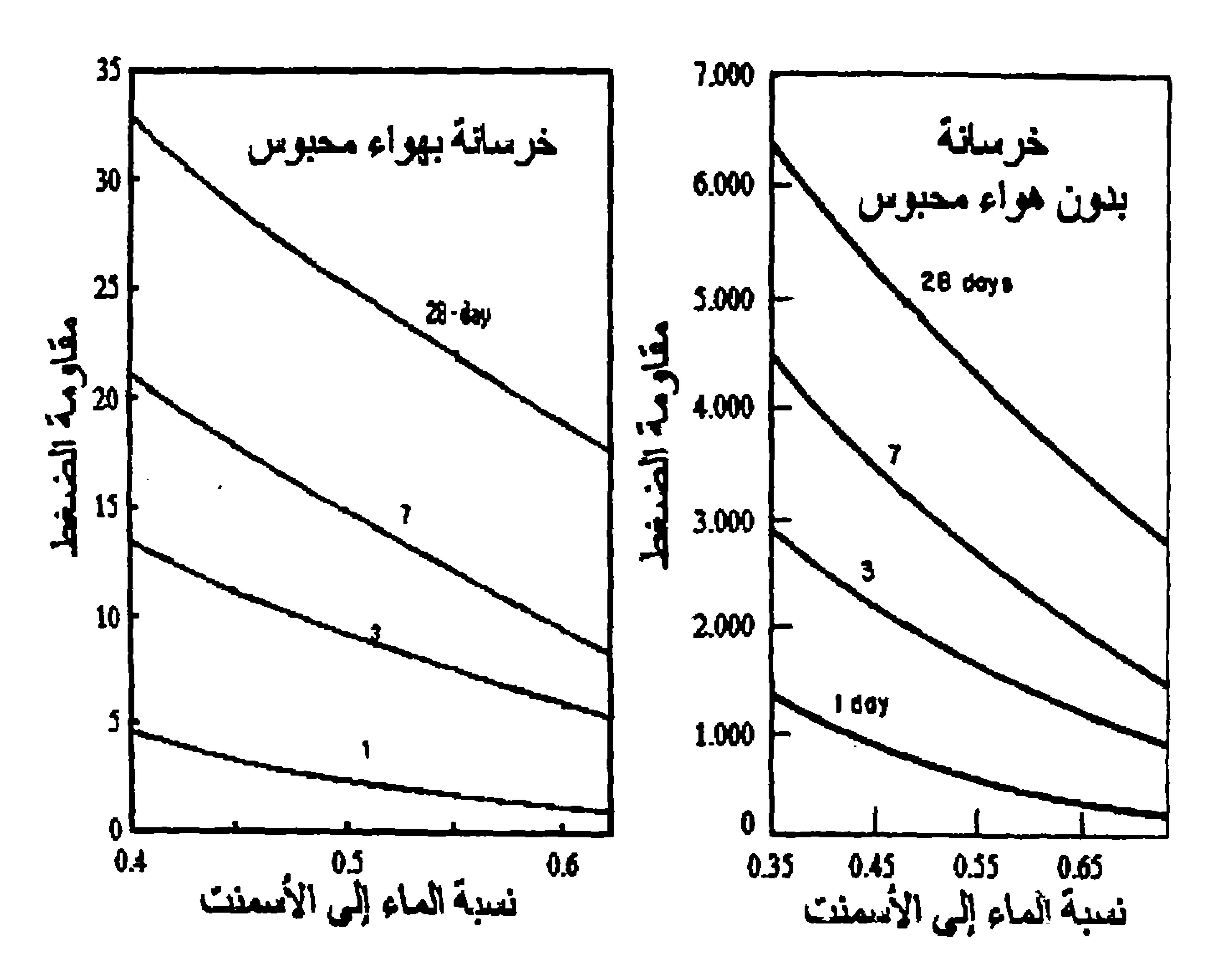
W/C (water cement ratio)
C (cement content)

شكل (5ـ1ـ أ) زيادة نسبة الفراغات الشعرية بزيادة W/C

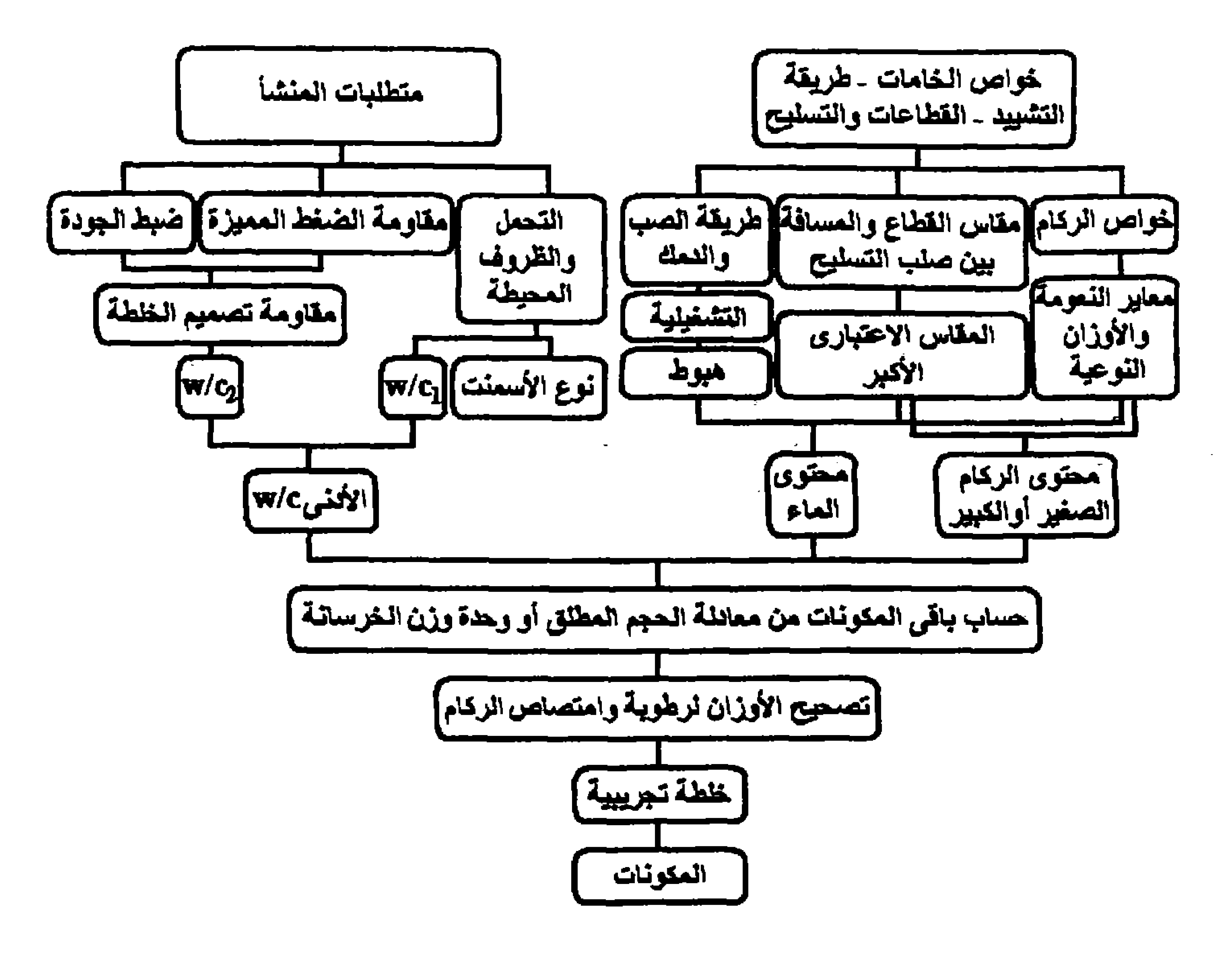


شكل (5ـ1ـ ب) زيادة الجل ونقص الإنفاذية بنقص نسبة الماء للأسمنت





شكل (5ـ2) علاقات مختلفة بين نسبة الماء إلى الأسمنت و مقاومة الضغط



شكل (5ـ3) العوامل المؤثره على تصميم الخلطة .

5ـ2ـ1 تحديد المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية:

Mean Strength or Mix Design Strength:

تتوقف قيمة المقاومة التصميمية للخلطة (F_m) على المقاومة المميزة للخرسانة (Fcu)؛ والتى يقوم المهندس باختيارها على أساس نوعية المنشأ المزمع إنشاؤه وأهميته، وكذلك على مستوى الشركة المنفذة وجودتها؛ وذلك على أساس نتائج للأعمال السابقة لها. ويظهر جودة تحكم الشركة فى قيمة الانحراف المعيارى (S) للمقاومات، الذى يعبر عن مدى مستوى أعمالها. ويمكن حساب المقاومة المتوسطة أو المستهدفة باستخدام المعادلة الآتية:

$$F_m = F_{cu} + M$$

حيث M هو هامش الأمان (Margin).

ويعتمد معامل الأمان (M) على مدى الاختلاف الذى يحدث أثناء تنفيذ المشروع؛ من اختلاف وتغير للمواد المستعملة وعدم وجود رقابة، وكذلك مقدار التغير الحادث أثناء أخذ العينات والاختبارات. ويمكن حساب معامل الأمان باستخدام المعادلة الآتية:

$$M = KS$$

حيث S الانحراف المعيارى للمقاومات،

K, يعتمد على نسبة عدد الاختبارات التى من المتوقع أن تعطى مقاومة أقل من fcu، ويمكن تحديد قيمته من جدول (5ـ1).

جدول (5-1) قيم المعمل الإحصائى K

نسبة عدد الإختبارات التي من المتوقع أن تقل عن F_{cu} بمقدار	K
% 1	2.33
% 5	1.64
% 10	1.28

والجدول السابق يوضح الاحتمالات المستخدمة فى الكود المصرى والمواصفة البريطانية والألمانية، وسيتم تناول هذا الأمر بالتفصيل فى نهاية الباب.

5ـ3 طريقة تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة معهد الخرسانة الأمريكى (ACI):

يمكن تصميم الخلطة الخرسانية بناءً على تلك الطريقة التى تفترض أن حبيبات الركام مشبعة داخلياً تماماً بالماء ولكن سطحها جاف، تبعاً للخطوات التالية:

1. بناءاً على نوع المنشأ تحدَّد مقاومة الضغط التصميمية للاسطوانة بعد 28 يوم، وهى المقاومة المطلوب تصميم قطاعات المنشأ عليها (المقاومة المميزة).
2. بناءاً على الشركة المنفذة وجودة التحكم وطريقة التنفيذ المتبعة، نحدد مقاومة الخلطة التصميمية للخلطة (المقاومة المتوسطة)، وذلك بإضافة هامش أمان إلى المقاومة المميزة، ويتم تعيينه بالطريقة الموضحة لاحقا فى ضبط الجودة.
3. بناءاً على المحاجر القريبة نحدد نوع الركام الكبير، ونحدد المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير = $\frac{2}{3}$ المسافة الخالصة بين حديد التسليح و $\frac{1}{5}$ البعد الأدنى فى القطاع الخرسانى ، ويوجد جدول تنص علية ACI لحساب المقاس الإعتبارى الأكبر ولكنه غير مناسب للإستخدام فى مصر . ثم نحدد وحدة الوزن للركام الكبير (γ) والوزن النوعي لكلاً من الرمل والركام الكبير (G_{ss}، G_{sg} على الترتيب).
4. يحدَّد قوام الخرسانة المناسب بناءاً على نوع المنشأ ويتم تحديد الهبوط المستخدم، ومن المناسب كذلك أن يأخذ المصمم نوع طريقة الصب والتشييد فى الاعتبار، جدول (5ـ2).
5. بمعلومية المقاس الاعتبارى الأكبر للركام والقوام، نحدد كمية المياه باللتر/م^3 خرسانة (محتوي الماء = W) ، وذلك من جدول (5ـ3) ، سواءً كانت الخرسانة بها هواء محبوس أم لا (الهواء المحبوس لمقاومة تكون وذوبان الثلج) ، وتحدد نسبة الهواء من نفس الجدول .
6. طبقاً للظروف المحيطة والعوامل الكيميائية وطريقة التشييد، نحدد نوع الأسمنت المستخدم.
7. نحدد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) من جدول (5ـ4) بناءاً على مقاومة الاسطوانة للضغط المتوسطة، ومن جدول (5ـ5) فى حالة تعرض المنشأ لمهاجمة بالكبريتات أو تعرضه لظروف أو مهاجمات أخرى غير مناسبة كما بجدول رقم (5ـ6) (شرط التحمل).

ويقوم المهندس باختيار نسبة الماء إلى الأسمنت الأقل التى تحقق شرط المقاومة وشرط التحمل ويختار نوع الأسمنت ومقاومة الضغط الدنيا. والمعادلة التالية تربط بين مقاومة ضغط الخرسانة للاسطوانة (F_{cy}) ومقاومتها للمكعب F_{cu} بالكجم/سم^2.

$$F_{cy} = (0.76 + 0.2\log\frac{F_{cu}}{200})F_{cu}$$

8. بمعرفة نسبة الماء إلى الأسمنت نحدد محتوى الأسمنت.

$$C = \frac{W}{W/C}$$

9. قامت هذه الطريقة بعمل دراسة معملية عن طريق المحاولة والخطأ؛ لتحديد حجم الركام الكبير بالمتر المكعب اللازم لإنتاج متر مكعب خرسانة فى حالة اســتخدام رمــال ذات معايير نعومة مختلفة، وذلك للأنواع المختلفة من الركام الكبير (ركام ذى مقاس اعتبارى أكبر متغير)، وهذا موضح بالجدول (5ــ 7). وعليه فإنه بمعلومية المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير ومعايير نعومة الرمل المستخدم، نحدد حجم الركام الكبيــر (Vg) بالمتر المكعب اللازم لإعطاء 1 م3 من الخرسانة، جدول (5ــ7). ويلاحظ أنه كلما زاد المقاس الاعتبارى الأكبر تزيد الحاجة للركام الكبير لزيادة نسبة الفراغــات فيــه. وبالمثل تزداد الحاجة للركام الكبير كلما قل معايير نعومة الرمال المستخدمة.

- نحدد حجم الركام الكبير الجامد بدون فراغات كما يلى:
  - يحدد وزن الركام الكبير (W_g).

$$Wg = \gamma . V_g$$

  - يحدد الحجم الجامد للركام الكبير بدون فراغات (V_{gs}) من المعادلة:

$$V_{gs} = \frac{Wg}{G_{sg}}$$

حيث V_g حجم الركام بما فيه من فراغات.
γ وحدة الوزن للركام الكبير.
G_{sg} الوزن النوعى للركام الكبير.

10. يتم تحديد حجم الرمل الجامد المستخدم من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$W/1 + C/3.15 + V_{gs} + V_{ss} + A = 1$$

حيث C وزن الأسمنت ووزنة النوعي = 3.15 .
W وزن الماء ووزنه النوعى = 1
V_{gs} الحجم الجامد للركام الكبير.
V_{ss} الحجم الجامد للرمال.
A محتوى الهواء المحبوس.

ويلاحظ أن الطريقة السابقة تفترض أن حجوم المواد الجامدة للأسمنت والماء والرمل والركام الكبير والهواء المحبوس عرضا بعد الدمك تعطى 1 م^3 خرسانة.

11. يتم تحديد وزن الرمل (W_s) بمعلومية حجمه الجامـد؛ $(W_s) = V_{ss}.G_{ss}$، وبالتـالى أمكننا تحديد مكونات الخلطة التجريبية من محتوى ماء وركام كبيـر وركـام صـغير وأسمنت .

12. يجب عمل خلطات تجريبية وقياس الهبوط ووحدة الوزن ومقاومة الضغط فى زمـن مبكر وبعد 28 يوم. وإن وجد هناك اختلاف فى وحدة الوزن، فيجب ضبط نسب الخلط وكذلك الهبوط. ويمكن عن طريق هذه النسب المعدلة تحديد كلاً من الحصيلة ومعامـل الأسمنت.

13. يتم عن طريق معرفة سعة الخلاطة المستخدمة تصميم العبوات.

14. يجب عمل خلطات فى الموقع وقياس الهبوط وتحديد مقاومة الضغط فـى ظـروف الموقع.

* ملاحظات:

- يجب تعديل نسب الخلط على أساس نسبة الرطوبة الموجودة بالركام، وكذلك نسبة امتصاص الركام للمياه. فإذا احتوى الركام على رطوبة حـرة قيمتهـا m% من وزن الركام الجاف، فيمكن إيجاد كمية المياه الموجودة فى الركـام (X) من المعادلة الآتية:

$$m/100 = \frac{X}{A - X}$$

$$X = A\frac{m}{100 + m}$$

حيث A هى وزن الركام فى صورته الطبيعيـة و X هـى كميـة المياه.

ويكون وزن الركام المصحح ($A^{\backslash}$) كما يلى:

$$A' = A + X$$

ويكون محتوى الماء $W^{\backslash}$

$$W = W - X$$

- أما إذا كان للركام الجاف (A) نسبة امتصاص (n)، فيمكن حساب كمية المياه الممتصة (X_a).

$$Xa = A\frac{n}{100}$$

وتضاف هذه القيمة إلى وزن الماء، فيصبح وزن الماء المصحح ($W^{\backslash}$).

$$W' = W - X$$

ومن المهم التنبيه أنه يجب إضافة وزن الماء الممتص إلى كثافة الخرسـانة النظرية.

جدول (5-2) الهبوط الموصى به للمنشآت المختلفة

المنشأ	الهبوط (سم)	
	أقصي	أدني
ـ حوائط الأساسات المسلحة والأساسات والقيسونات	7.5	2.5
ـ الكمرات وللحوائط المسلحة .	7.5	2.5
ـ الأعمدة .	10	2.5
ـ بلاطات الرصيف والبلاطات المسلحة .	10	2.5
ـ خرسانة كتلية .	5	2.5

جدول (5-3) محتوى الماء التقريبى بالكجم للمتر المكعب، وكذلك محتوى الهواء المحبوس*

هبوط (سم)	المقاس الاعتبارى الأكبر للركام مم						
	10	12.5	20	25	40	50	70
	خرسانة بدون هواء محبوس						
5-2.5	205	200	185	180	160	155	145
10-7.5	225	215	200	195	175	170	160
18-15	240	230	210	205	185	180	170
نسبة الهواء	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.30
	خرسانة ذات هواء محبوس						
5-2.5	180	175	165	160	145	140	135
10-7.5	200	190	180	175	160	155	150
18-15	215	205	190	185	170	165	160
نسبة الهواء المحبوس بجو متوسط القساوة	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5

* قيم محتوى الماء موضوعه لركام مكسر ويجب تخفيض 18 كجم عند استخدام ركام دائرى

جدول (5-4) يبين مقاومة ضغط الاسطوانة بعد 28 يوم ونسبة الماء إلى الأسمنت

مقاومة الضغط كجم/سم^2	نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن	
	خرسانة بدون هواء	خرسانة ذات هواء محبوس
450	0.37	—
400	0.42	—
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.80	0.71

جدول (5-5) متطلبات تحمل خرسانة تتعرض لمهاجمة الكبريتات.

المهاجمة بالكبريتات	SO_4 فى الماء (جزء فى المليون)	نوع الأسمنت	W/C	المقاومة الدنيا (N/mm^2)
مهملة	$0<SO_4<150$	—	—	—
متوسطة	$150<SO_4<1500$	بورتلاندى مخلوط أسمنت معدل	0.50	28
قاسية	$1500<SO_4<10000$	أسمنت مقاوم للكبريتات	0.45	31
قاسية جداً	$SO_4>10000$	أسمنت مقاوم للكبريتات + مادة بوزولانية	0.45	31

المادة البوزولانية يجب أن يثبت بالاختبار أنها تحسن من مقاومة الكبريتات.

جدول (5-6) متطلبات التعرض لحالات خاصة.

حالة التعرض	W/C	المقاومة الدنيا (N/mm^2)
خرسانة ذات نفاذية قليلة عند تعرضها للماء	0.5	28
الخرسانة المعرضة للتثليج و الذوبان	0.45	31
للحمايو من صدأ صلب التسليح للخرسانة المتعرضة للمهاجمة بالكلوريدات قبل ماء البحر أو الماء المالح	0.45	35

جدول (5-7) حجم الركام الكبير $(م^3)$ لإنتاج $1م^3$خرسانة من الخرسانه ذات القوام اللدن

المقاس الاعتبارى الأكبر مم	النعومة		معاير المرونة	
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

5ـ4 تصميم الخلطات ذات المقاومة العاليـة (Design of High Strength :(Concrete

5ـ4ـ1 مقدمة:

أصبحت الخرسانة العالية المقاومة فى العقدين الآخرين تستخدم بكثرة فى الكبارى سـابقة الإجهاد، وكذلك فى المنشآت العالية والمنشآت البحرية. وتعتبر المقاومات الأعلى مـن 400 كجم/سم^2 خرسـانات ذات مقـاومة عاليـة. ولقد تم حالياً إنتاج خرسـانات ذات مقـاومة أعلى من 1000 كجم/سم^2؛ ويطلق عليهـا الخرسـانة فائقـة المقـاومة (Ultra High Strength). والخرسانة ذات المقاومة العالية هى خرسانة تحتاج إلى معالجة خاصـة مثـل البخار، أو تحتاج لإضافات خاصة، وهى تحتاج لأسس وضعية لتصميم خلطاتهـا. ويمكـن الوصول لتلك المقاومة بركام جيد وبنسب مرتفعة من الأسمنت، مع تشغيلية ليـست عاليـة. وهناك اتجاه حديث لتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام مواد عالية التلـدين (Super Plasticizers)، مع استخدام إضافات خاصة مثل Silica Fume. وسنعرض فيمـا يلى إحدى الطرق التقليدية لتصميم تلك الخلطات. وقامت تلـك الطريقـة علـى اختبـارات ودراسات عملية ووضعية قام بها كلاً من نتروى وشكلوك. وتعتمد أساساً على استخدام ركام شامل به 30% من الرمال. وبالتالى أصبح محتوى الركام مجهول واحد ولـيس مجهـولين ويمكن استخدام منحنيات تدرج قياسية. وقام الباحثين بربط مقاومة الضغط بنسبة الماء إلـى الأسمنت عن طريق استخدام رقم اعتبارى معين، ثم يلى اعطاء جداول تعطى نسبة الركـام الشامل إلى الأسمنت. ويمكن تفصيل ذلك فيما يلى:

1ـ تحديد درجة التشغيلية:

قام الباحثان بوضع الجدول رقم (5-8) لكى يتم تحديد درجة التشغيلية المطلوبـة علـى أساسه.

جدول (5-8) خواص الخرسانة الطازجة للخرسانة عالية المقاومة

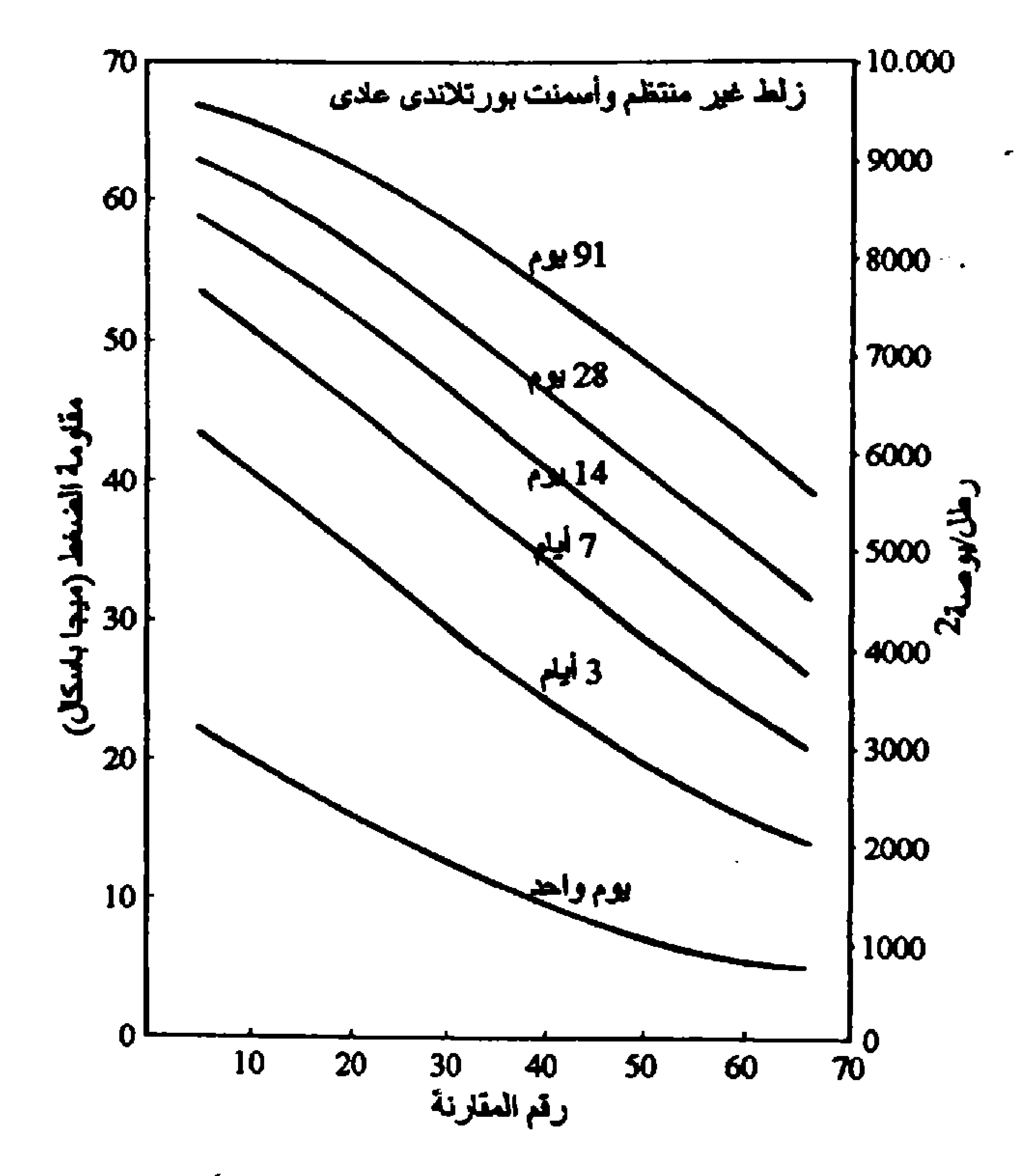
حالة المنشأ والدمك	هبوط عالية سم	درجة التشغيلية	معامل الدمك
هزازات خارجية أوضغط خارجي	صفر	منخفضة الي أقصي درجة	0.65
الهز والدمك الشديد	صفر ـ 3	منخفضة جداً	0.75
قطاعات الخرسانة المسلحة واستخدام دمك	0.30 ـ 0.60	منخفضة	0.83
قطاعات شديدة التسليح مع الدمك	0.60 ـ 2.5	متوسطة	0.90
قطاعات شديدة التسليح أو دمك يدوي	2.5 ـ 10	عالية	0.95

2ـ تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

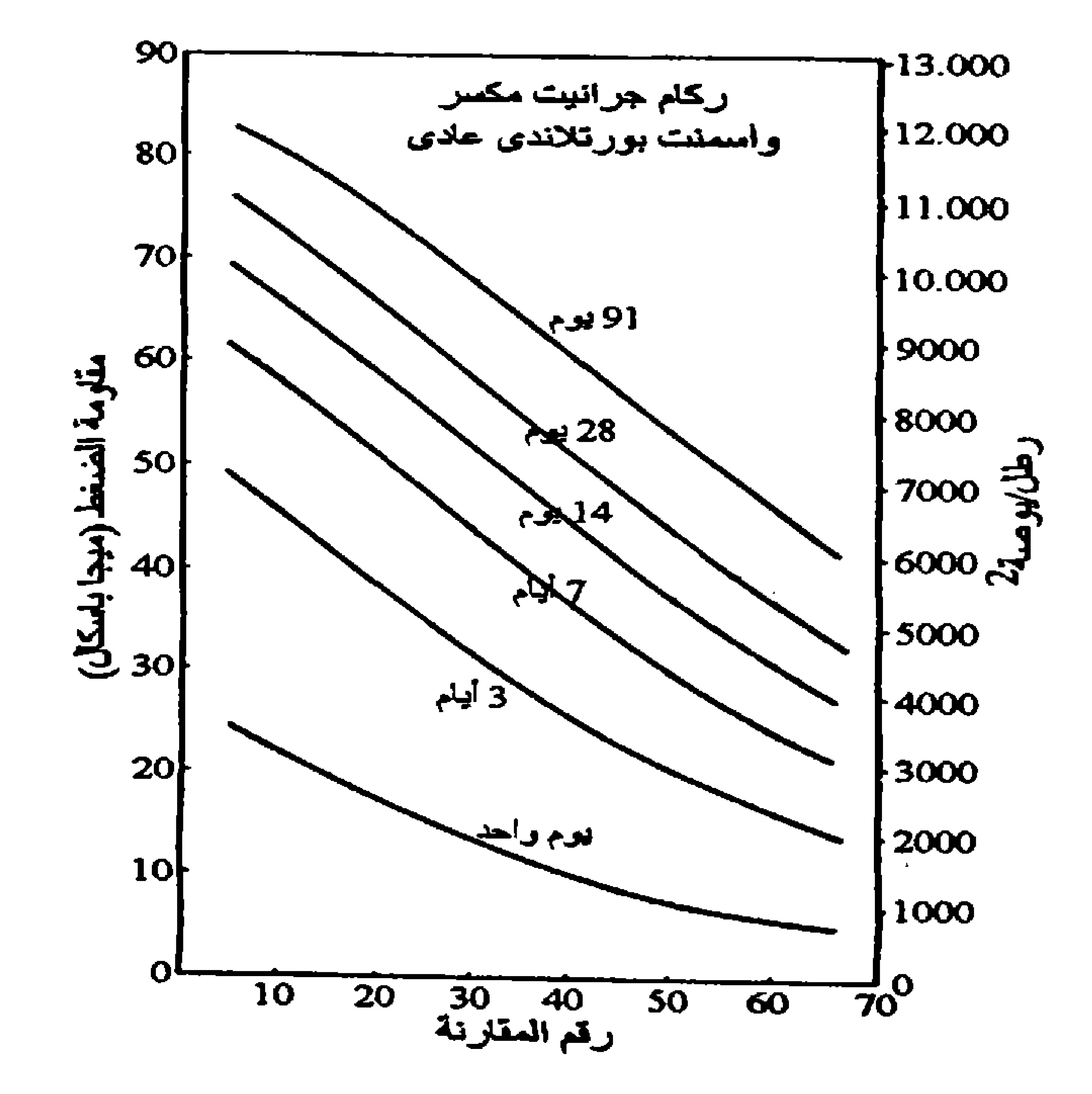
أ- تحديد رقم المقارنة:

يتم تحديد المقاومة الدنيا للمنشأ، ومنها يحدد المقاومة المتوسطة.

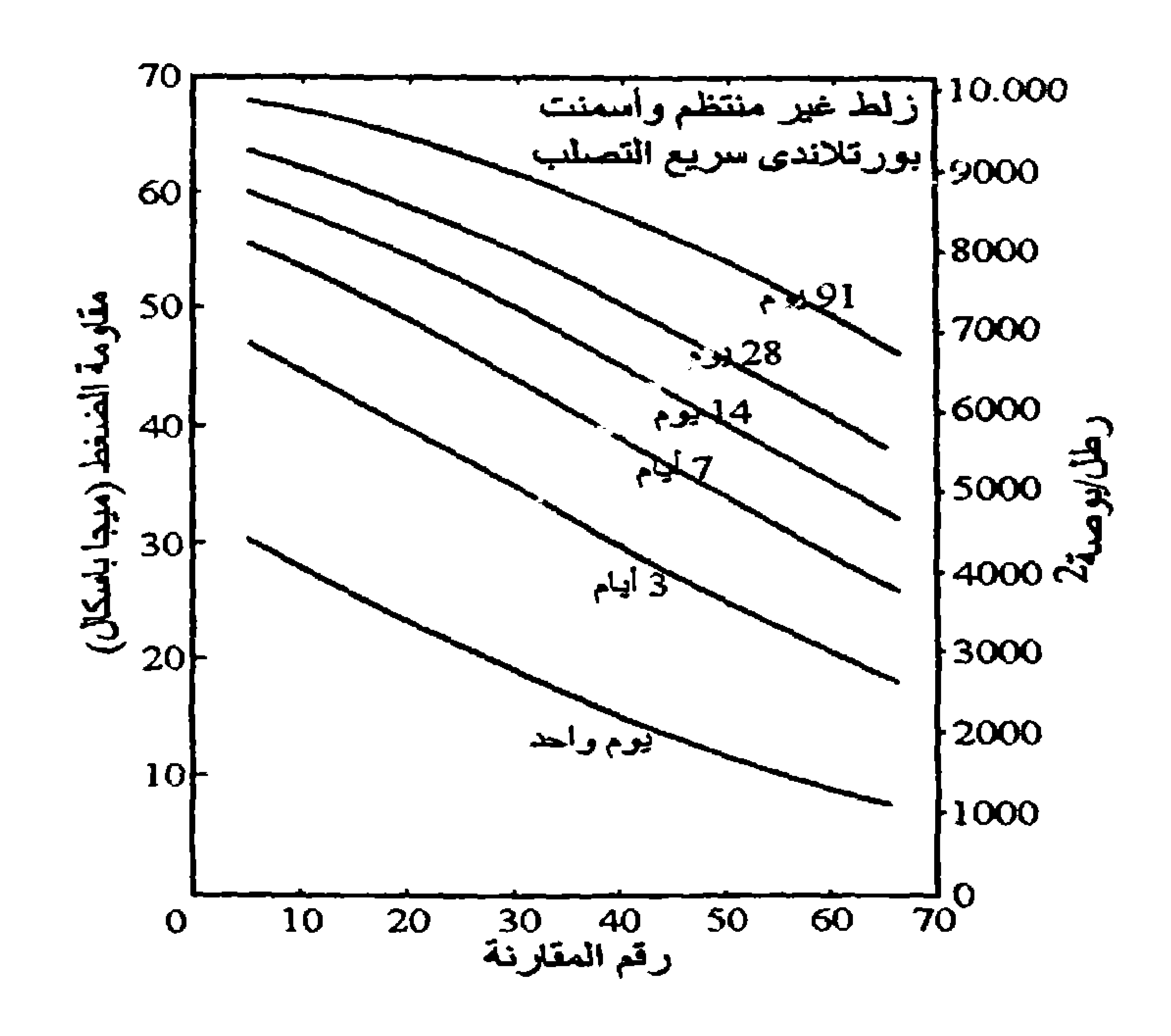
قام الباحثان بدراسة معملية للعلاقة بين نسبة الماء إلـى الأسـمنت ومقاومـة ضـغط الخرسانة. ونظراً للمدى المحدود للدراسة، فقد تم الاستعانة بمقياس مكبر أطلق عليه رقـم اعتبارى أو رقم مقارنه (Reference Number). وبذلك تم رسم العلاقة بـين مقاومـة الضغط والرقم الاعتبارى، بدلاً من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت. والأشـكال (5ـ4 حتى 5ـ7) توضح تلك العلاقة التى تم رسمها لأسمنت بورتلاندى عادى وأسمنت سريع التصلد، وكذلك لنوعين من الركام الكبير (زلط غير منتظم وكسر جرانيت).



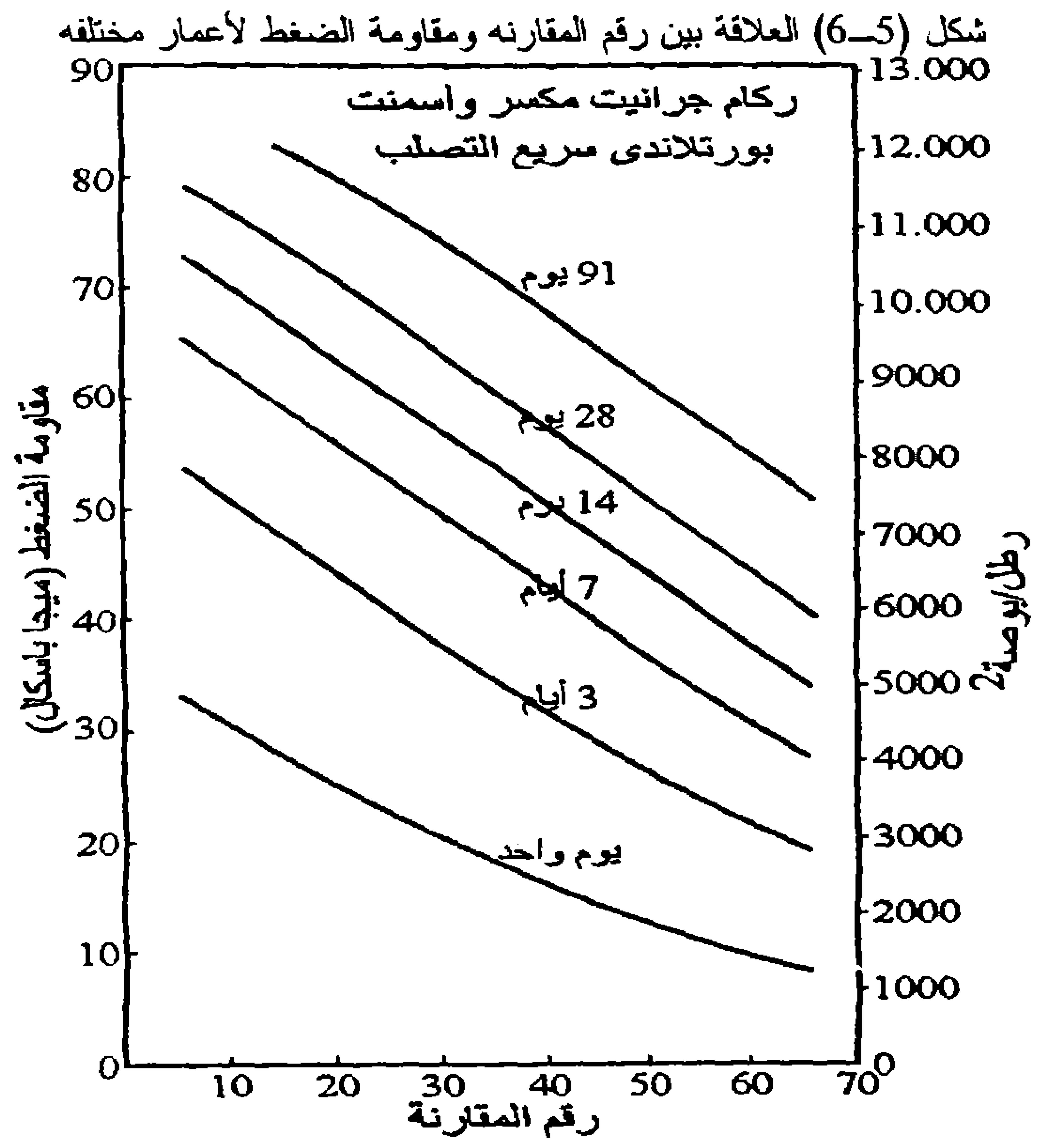
شكل (5ـ4) العلاقة بين رقم المقارنه ومقاومة الضغط لأعمار مختلفه



شكل (5ـ5) العلاقة بين رقم المقارنه ومقاومة الضغط لأعمار مختلفه



شكل (5ـ6) العلاقة بين رقم المقارنه ومقاومة الضغط لأعمار مختلفه

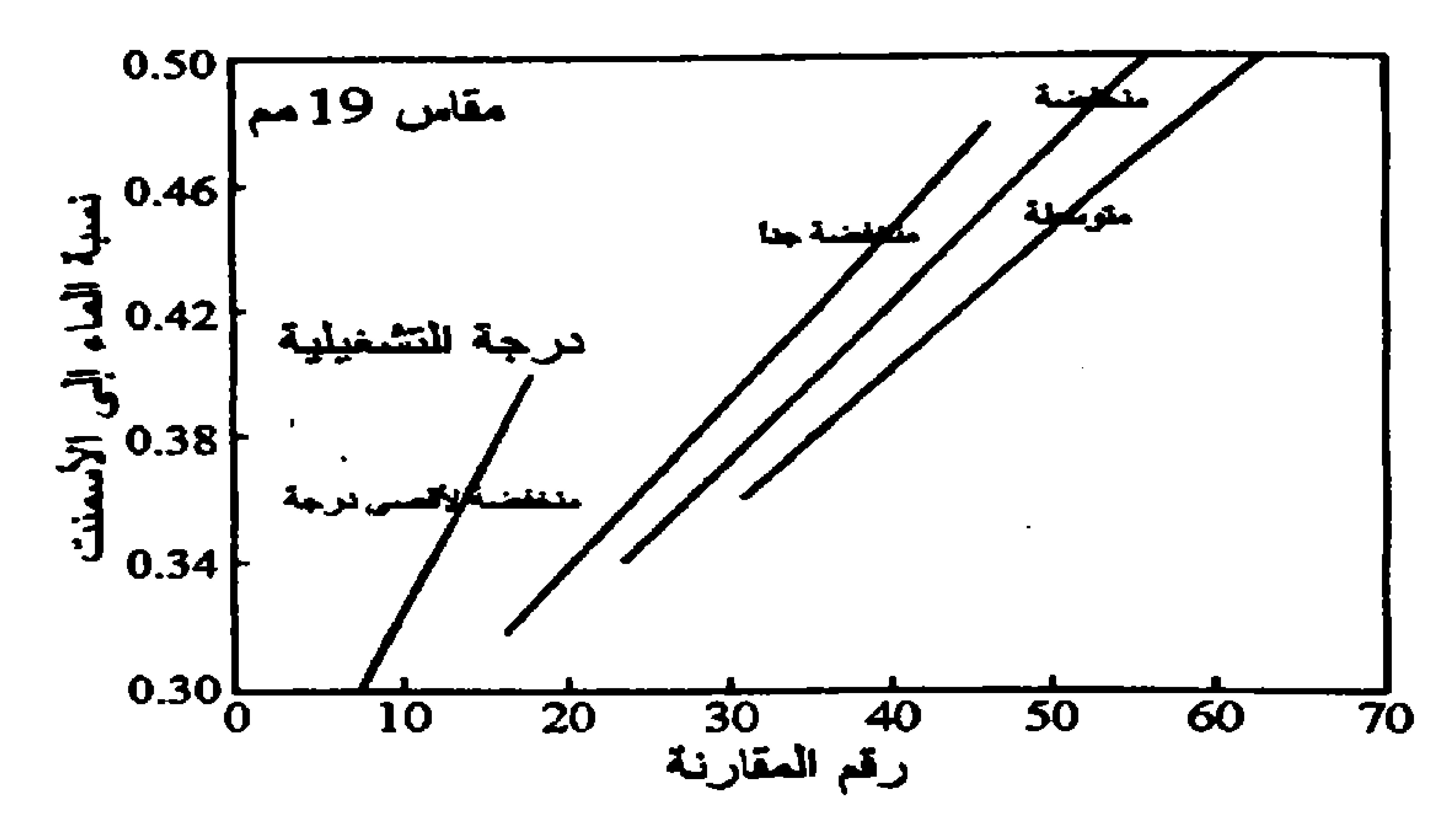


شكل (5ـ7) العلاقة بين رقم المقارنه ومقاومة الضغط لأعمار مختلفه

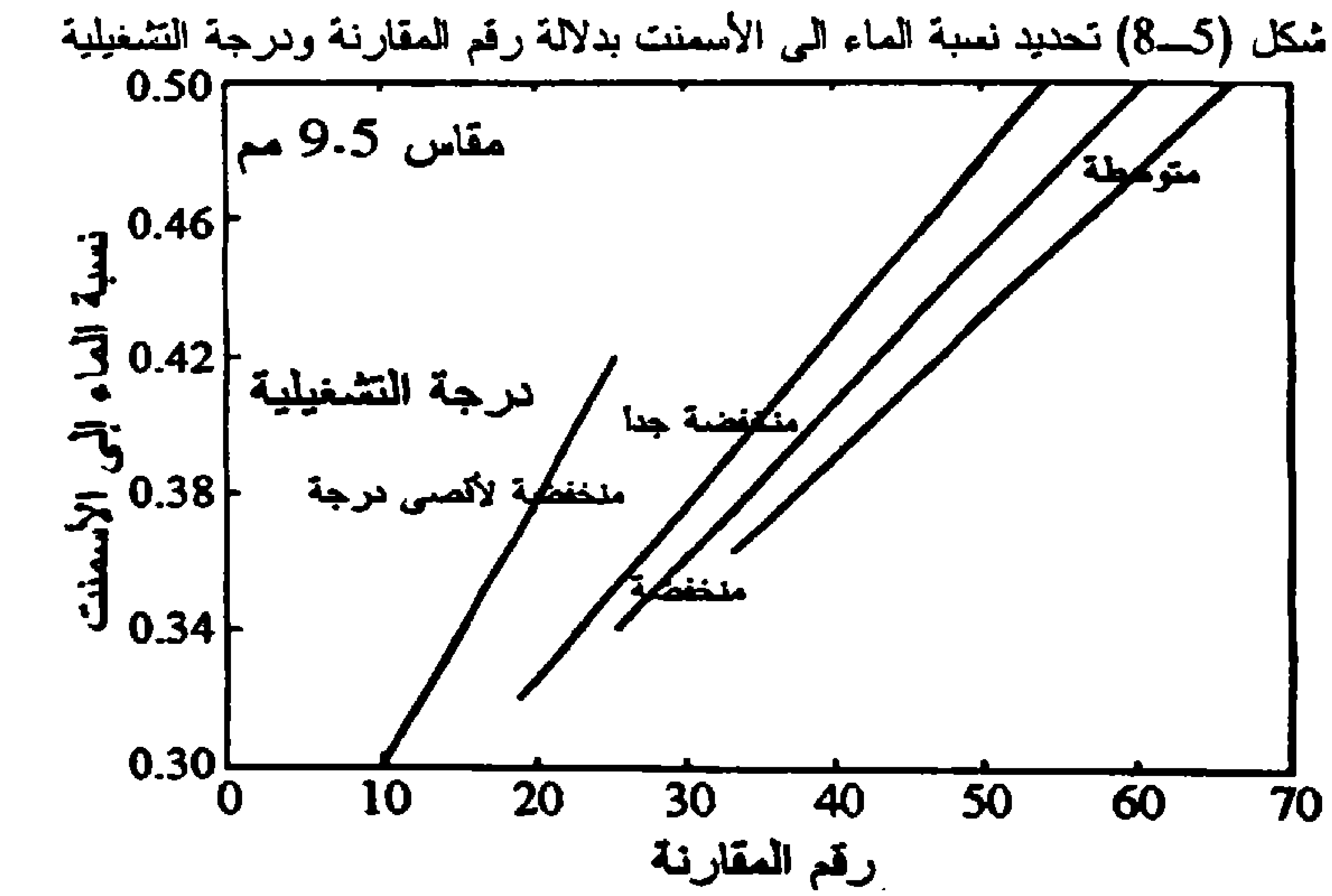
بناءً على ما سبق، يقوم المهندس بتحديد الرقم الاعتبارى (رقـم المقارنــه) المُنــاظر للمقاومة المطلوبة عند عمر معين.

ب- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

يتم تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام الشكلان (5ـ8 ، 5ـ9)، وفيهما علاقة بين الرقم الاعتبارى (R.N) ونسبة الماء إلى الأسمنت لدرجات تشغيلية مختلفة بين تشغيلية منخفضة إلى أقصى درجة وتشغيلية متوسطة، وذلك لركام ذى مقــاس اعتبــارى أكبر $^3/_4$، $^3/_8$ بوصة على الترتيب.



شكل (5ـ8) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية



شكل (5ـ9) تحديد نسبة الماء الى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية

3ـ تحديد نسبة الركام الشامل (Ag):

قام الباحثان عملياً بحساب نسبة الركام الشامل إلــى الأســمنت (Ag/C)، ولــدرجات التشغيلية المختلفة والنوعين المستخدمين من الركام الكبير، ولمقاس من الركــام $^3/_4$، $^3/_8$، وللأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت سريع التصلب. وتم تلخيص ذلك فى الجــداول ارقام (5-9 ، 5-10 ، 5 -11 ، 5-12) وعن طريق تلك الجداول نحدد نسبة W/C .

4ـ حساب محتوى الأسمنت باستخدام نسبة الماء إلى الأسمنت ونسب الركام إلى الأسمنت وباقى المحتويات من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$\frac{Ag}{G_s}+\frac{C}{3.15}+\frac{W}{1}=1$$

حيث فرض أن الهواء المحبوس = صفر.

C وزن الأسمنت.

W وزن الماء.

G_s الوزن النوعى للركام الشامل.

بالقسمة على وزن الأسمنت C فى المعادلة السابقة:

$$\frac{Ag}{C\,G_s}+\frac{1}{3.15}+\frac{W}{C}=\frac{1}{C}$$

ومنها يتم إيجاد وزن الأسمنت (C).

ـ بمعلومية Ag / C نوجد وزن الركام الشامل / م^{3}خرسانة.

ـ بمعلومية W/C نوجد وزن الماء / م^{3}خرسانة.

ويتم عمل خلطة تجريبية وتحديد مقاومة الضغط لها ومعامل الدمك ووحدة الوزن مع عمل التصحيحات اللازمة.ويمكن استخدام الجداول (5- 13 ، 5-14 ، 5- 15) للحصول على نسبة الخلط التى تحقق التدرجات القياسية.

جدول (5ـ9) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 38.1 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جداً				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للأسمنت 0.35	4.0	3.9	3.5	3.2	3.4	3.3	3.2	2.9	2.9	2.8	2.6	2.5	2.7	2.5	2.3	2.3
0.40	5.3	5.3	4.7	4.3	4.5	4.5	4.2	3.8	3.8	3.8	3.7	3.4	3.5	3.5	3.3	3.1
0.45	6.5	6.5	5.9	5.3	5.6	5.6	5.3	4.8	4.6	4.7	4.6	4.3	4.1	4.4	4.3	4.0
0.50	7.7	7.7	7.1	6.3	6.7	6.6	6.3	5.7	5.4	5.7	5.5	5.1	4.8	5.2	5.1	4.8
0.55	-	-	8.1	7.3	7.6	7.6	7.2	6.6	6.2	6.5	6.3	5.8	*	5.9	6.0	5.5
0.60	-	-			-	-	-	7.4	7.0	7.3	7.1	6.6	*	*	6.7	6.2
0.65					-	-	-	8.1	7.8	8.1	7.8	7.2	*	*	7.3	6.9
0.70									-	-	-	7.9	*	*	-	7.4
0.75											-		*	*	-	8.0
0.80													*	*	-	-

جدول (5ــ10) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 19.05 مم

درجة التشغيلية	منخفضة جدا				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للاسمنت 0.35	4.5	4.5	3.5	3.2	3.8	3.6	3.2	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.5
0.40	6.6	6.3	5.3	4.5	5.3	5.1	4.5	4.1	4.2	4.2	3.9	3.7	3.6	3.7	3.5	3.3
0.45	8.0	7.7	6.7	5.8	6.9	6.6	5.9	5.1	5.3	5.3	5.0	4.5	4.6	4.8	4.5	4.1
0.50	-	-	8.0	7.0	8.2	8.0	7.0	6.0	6.3	6.3	5.9	5.4	5.5	5.7	5.3	4.8
0.55	-	-	-	8.1	-	-	8.2	6.9	7.3	7.3	7.4	6.4	6.3	6.5	6.1	5.5
0.60					-	-	-	7.7	-	-	8.0	7.2	*	7.2	6.8	6.1
0.65					-	-	-	8.5	-	-	-	7.8	*	7.7	7.4	6.6
0.70													*	-	7.9	7.2
0.75													*	-	-	7.6
0.80													*	-	-	-
0.85													*	-	-	-
0.90																

جدول (5ـ11) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 38.1 مم

عالية				متوسطة				منخفضة				منخفضة جداً				درجة التشغيلية	
4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	رقم منطقة التدرج	
2.2	2.5	2.5	2.4	2.4	2.7	2.6	2.6	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.7	3.7	0.35	نسبة الماء للأسمنت
2.9	3.2	3.2	3.1	3.2	3.5	3.4	3.3	3.5	3.8	3.9	3.9	4.0	4.7	4.7	4.8	0.40	
3.5	3.9	3.9	*	3.9	4.2	4.1	4.0	4.3	4.6	4.8	4.8	5.0	5.7	5.8	6.0	0.45	
4.1	4.4	4.4	*	4.5	4.8	4.8	4.6	5.0	5.4	5.5	5.5	5.9	6.5	6.8	7.2	0.50	
4.7	4.9	4.8	*	5.1	5.4	5.4	*	5.7	6.0	6.2	6.2	6.7	7.3	7.8	8.3	0.55	
5.2	5.4	*	*	5.6	6.0	6.0	*	6.2	6.7	6.9	6.8	7.4	8.0	8.6	9.4	0.60	
5.6	5.8	*	*	6.1	6.4	*	*	6.8	7.3	7.5	7.4	8.0	-	-	-	0.65	
6.1	6.2	*	*	6.6	6.7	*	*	7.4	7.7	8.0	8.0	-	-	-	-	0.70	
6.5	6.6	*	*	7.0	7.2	*	*	7.9	-	-	-					0.75	
7.0	*	*	*	7.4	7.5	*	*	-	-	-	-					0.80	
7.4	*	*	*	7.8	7.8	*	*									0.85	
7.7	*	*	*	8.1	*	*	*									0.90	
8.0	*	*	*	-	*	*	*									0.95	
*	*	*	*													1.00	

جدول (5 ـــ 12) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 19.05 مم

عالية				متوسطة				منخفضة				منخفضة جدا				درجة التشغيلية	
4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	رقم منطقة التدرج	
2.1	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.9	3.0	3.2	0.35	نسبة الماء للأسمنت
2.6	2.8	2.9	2.9	2.7	2.9	3.1	3.1	3.0	3.2	3.5	3.5	3.5	3.7	4.2	4.5	0.40	
3.1	3.2	3.5	3.5	3.3	3.4	3.7	3.7	3.7	3.9	4.2	4.3	4.3	4.6	5.0	5.5	0.45	
3.5	3.8	3.9	*	3.8	3.9	4.2	4.2	4.3	4.5	4.9	5.0	5.0	5.4	5.8	6.5	0.50	
4.0	4.3	*	*	4.3	4.5	4.7	4.7	4.8	5.0	5.4	5.7	5.6	6.0	6.6	7.2	0.55	
4.4	4.7	*	*	4.8	4.9	5.2	*	5.3	5.6	6.0	6.3	6.3	6.6	7.2	7.8	0.60	
4.9	5.1	*	*	5.2	5.4	5.7	*	5.8	6.1	6.5	6.9	6.9	7.2	7.8	8.3	0.65	
5.3	5.5	*	*	5.7	5.8	6.2	*	6.3	6.5	7.0	7.4	7.5	7.7	8.3	8.7	0.70	
5.7	5.8	*	*	6.1	6.2	*	*	6.8	7.0	7.5	7.9	8.0	8.2	-	-	0.75	
6.0	6.1	*	*	6.5	6.6	*	*	7.2	7.4	-	-	-	-	-	-	0.80	
6.3	6.4	*	*	6.9	7.1	*	*	7.6	7.8	-	-					0.85	
6.7	*	*	*	7.3	7.5	*	*									0.90	
7.0	*	*	*	7.6	8.0	*	*									0.95	
7.3	*	*	*													1.00	

جدول (5- 13) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 38.1مم(هيئة الطرق الأمريكيه مذكره رقم 4) لأربعة مناطق تدرج

100	50	30	16	8	4	8/3	4/3	1.5	مقاس المنخل
1	2	8	12	19	23	35	50	100	1
2	7	12	17	25	33	43	60	100	2
3	10	17	24	32	40	52	68	100	3
5	15	25	30	37	46	60	75	100	4

جدول (5- 14)حدود التدرج لركام شامل مقاسه 19 مم (هيئة الطرق الأمريكيه ــ مذكره رقم 4)

100	50	30	16	8	4	8/3	4/3	مقاس المنخل
صفر	1	8	15	21	29	35	100	1
1	2	14	20	28	33	55	100	2
2	5	21	28	35	41	64	100	3
3	11	28	34	41	48	75	100	4

جدول (5-15)حدود التدرج لركام شامل مقاسه9,52 مم(هيئة الطرق الأمريكيه ــ مذكره رقم 4)

100	50	30	16	8	4	8/3	مقاس المنخل
1	5	13	17	20	30	100	1
3	8	19	27	33	45	100	2
5	14	28	37	46	60	100	3
7	20	34	46	60	75	100	4

5-5 تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة البريطانية:

تستخدم هذه الطريقة على مجال واسع فى المملكة المتحدة. وتعتمد هذه الطريقة على مجموعة من البيانات والمنحنيات المستنتجة من مجموعة من الأبحاث والاختبارات خلال سنوات عديدة. ويمكن تلخيص هذه الطريقة فى الخطوات التالية:

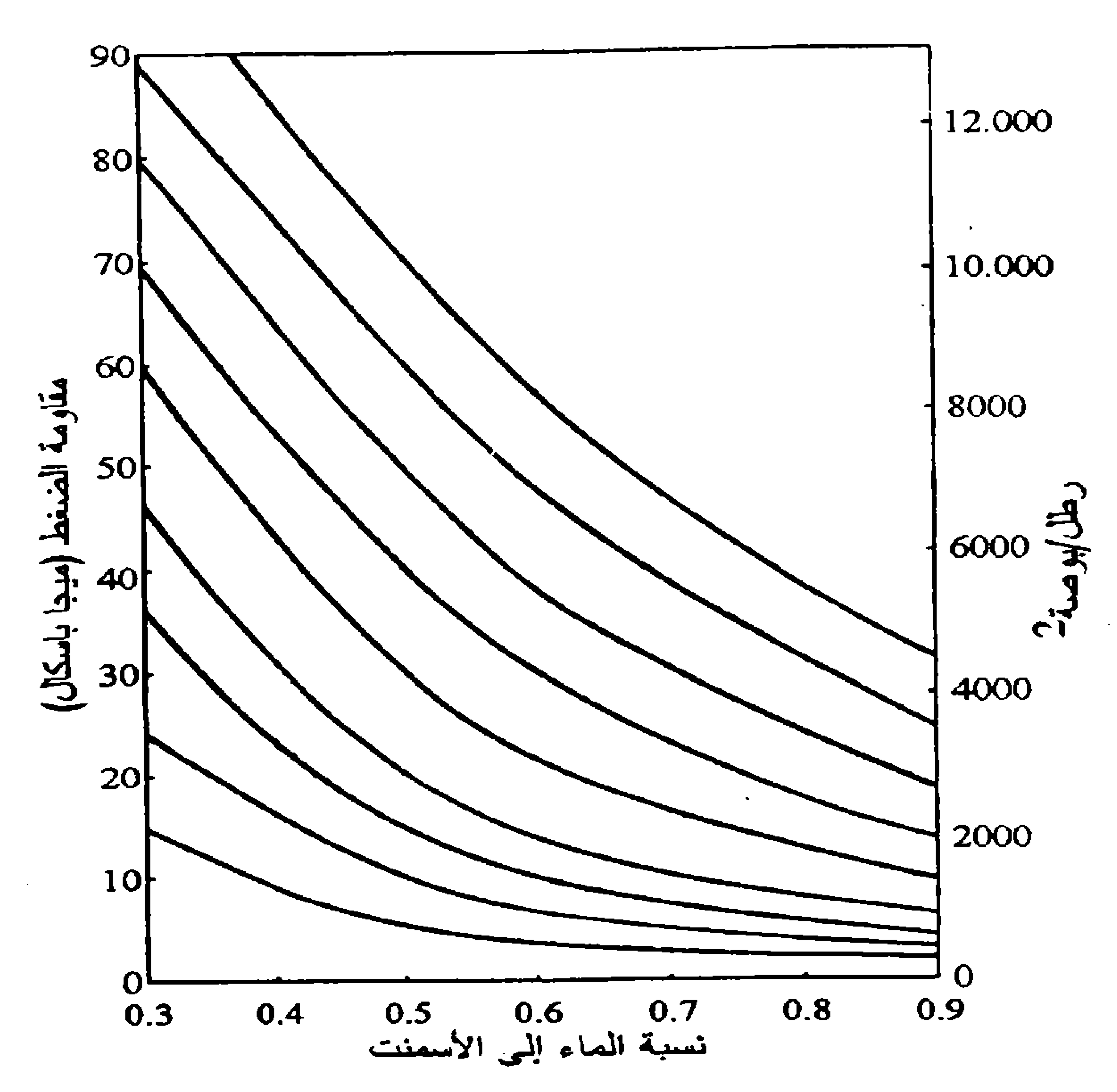
1ـ تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (Water cement ratio):

بمعلومية المقاومة التصميمية للخلطة يتم تعيين نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، وذلك باستخدام جدول (5-16) وشكل (5ـ10) كما يلى .

جدول (5-16) قيم مقاومة الضغط بالنسبة W/C مرجعية = 0.50

نوع الأسمنت	نوع الركام الكبير	مقاومة الضغط (نيوتن/مم^2) العمر باليوم			
		3	7	28	91
أسمنت بورتلاندى عادى أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	غيرمكسر	18	27	40	48
	مكسر	23	33	47	55
أسمنت سريع التصلد	غيرمكسر	25	34	46	53
	مكسر	30	40	53	60

- مقاومة الضغط التقريبيه لخلطات تستخدم بها نسبة ماء للأسمنت 0.50
- بمعلومية نوع الركام والأسمنت والزمن المطلوب تحقيق المقاومة عنده، يتم استخدام جدول (5-16)؛ حيث يتم استخدامه لإيجاد نقطة (عند نسبة ماء إلى أسمنت = 0.5) يتم توقيعها على المنحنى شكل(5ـ10)، ويتم رسم منحنى متوسط للمنحنى الأعلى والأسفل لهذه النقطة. ويستخدم هذا المنحنى لاستنتاج نسبة الماء إلى الأسمنت 1(W/C) التى تحقق المقاومة التصميمية للخلطة المطلوبة.
- بمعرفة الظروف والعوامل البيئية التى ستتعرض لها الخرسانة (Durability)، يتم تحديد نسبة 2(W/C) التى تحقق المقاومة للظروف والعوامل المختلفة، ومتطلبات التحمل (Durability) غير مذكورة هنا ويرجع للمواصفات البريطانية فى هذا الشأن ، ونأخذ القيمة الأقل من 2(W/C) ، 1 (W/C) وتسمى (W/C) .



شكل (5ـ10) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء الخالص إلى الأسمنت المستخدم فى الطريقة البريطانية للتصميم

2ـ تحديد محتوى ماء الخلط :

بمعلومية درجة قابلية التشغيل المطلوبة ونوعية الركام والمقاس الاعتبارى الأكبر، يتم تحديد كمية ماء الخلط الذى يحقق قابلية التشغيل المطلوبة، وذلك باستخدام جدول (5-17).

جدول (5-17) محتوى الماء المناسب لتشغيليه مختلفه .

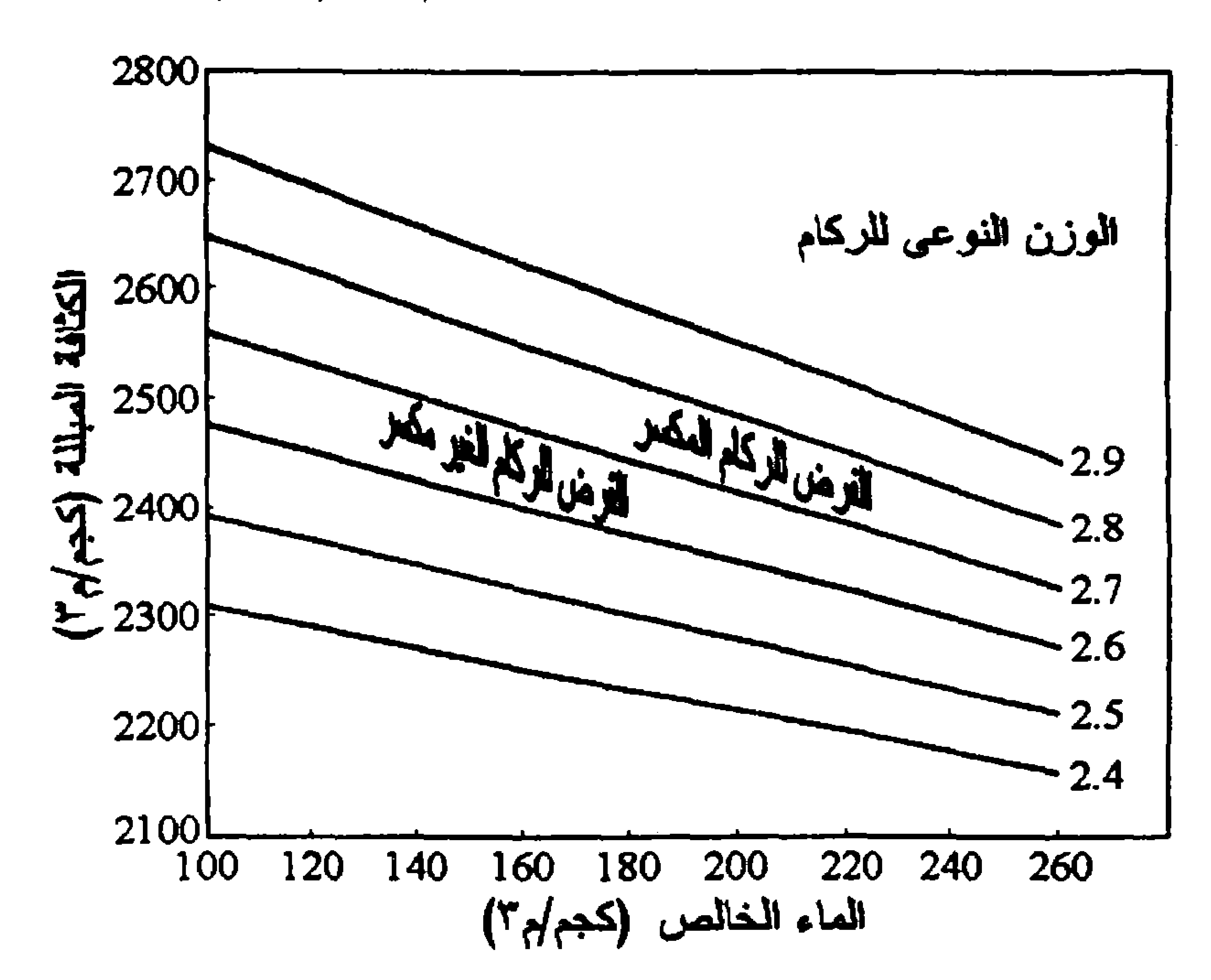
الهبوط مم زمن Vebe (بالثانية)		صفر ـ 10 أكبر من 12	10 ـ 30 6 ـ 12	30 ـ 60 3 ـ 6	60ـ180 صفر ـ 3
المقاس الاعتبارى الأكبر للركام مم	نوع الركام				
10	غير مكسر	150	180	205	225
	مكسر	180	205	230	250
20	غير مكسر	135	160	180	195
	مكسر	170	190	210	225
40	غير مكسر	115	140	160	175
	مكسر	155	175	190	205

3ـ تحديد محتوى الأسمنت بدلالة محتوى الماء ونسبة الماء الى الأسمنت :

$$Cement \quad content = \frac{Free \quad Water \quad Content}{(W/C)}$$

4ـ تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة (γ) :

بمعلومية الوزن النوعى للركام ومحتوى الماء وكذلك نوعية الركام المستخدم يتم تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة، وذلك باستخدام شكل (5ـ11).



شكل (5ـ11) تحديد كثافة الخرسانة كدالة من محتوى الماء والوزن النوعى للركام

5ـ تحديد المحتوى الكلى للركام:

من المعلومات السابقة (وزن الماء والأسمنت ووزن المتر المكعب من الخرسانة) يمكن حساب محتوى الركام (A).

$$A = \gamma - C - W$$

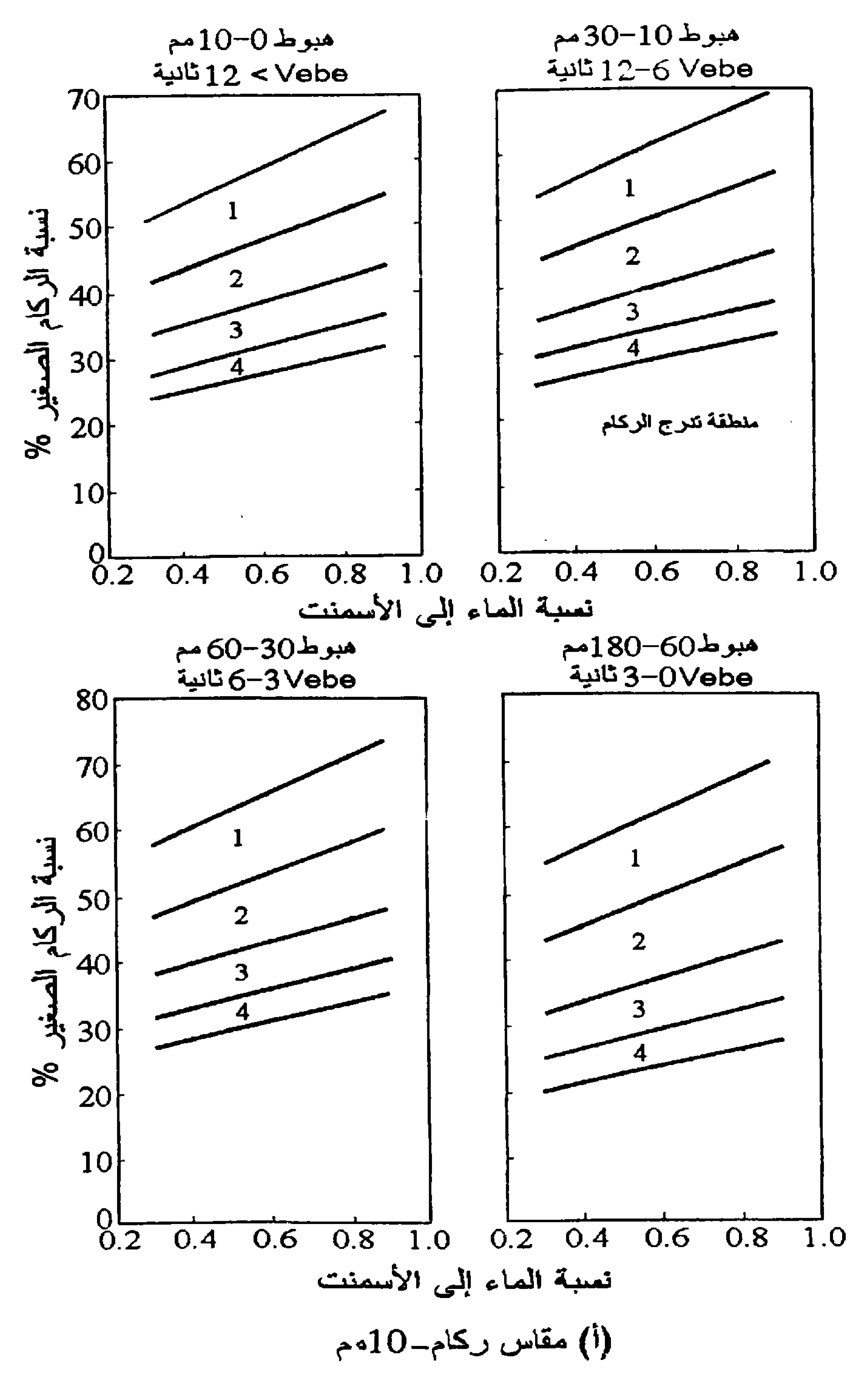
حيث γ وزن للمتر المكعب من الخرسانة (كجم/م^3).

C وزن الأسمنت (كجم/م^3).

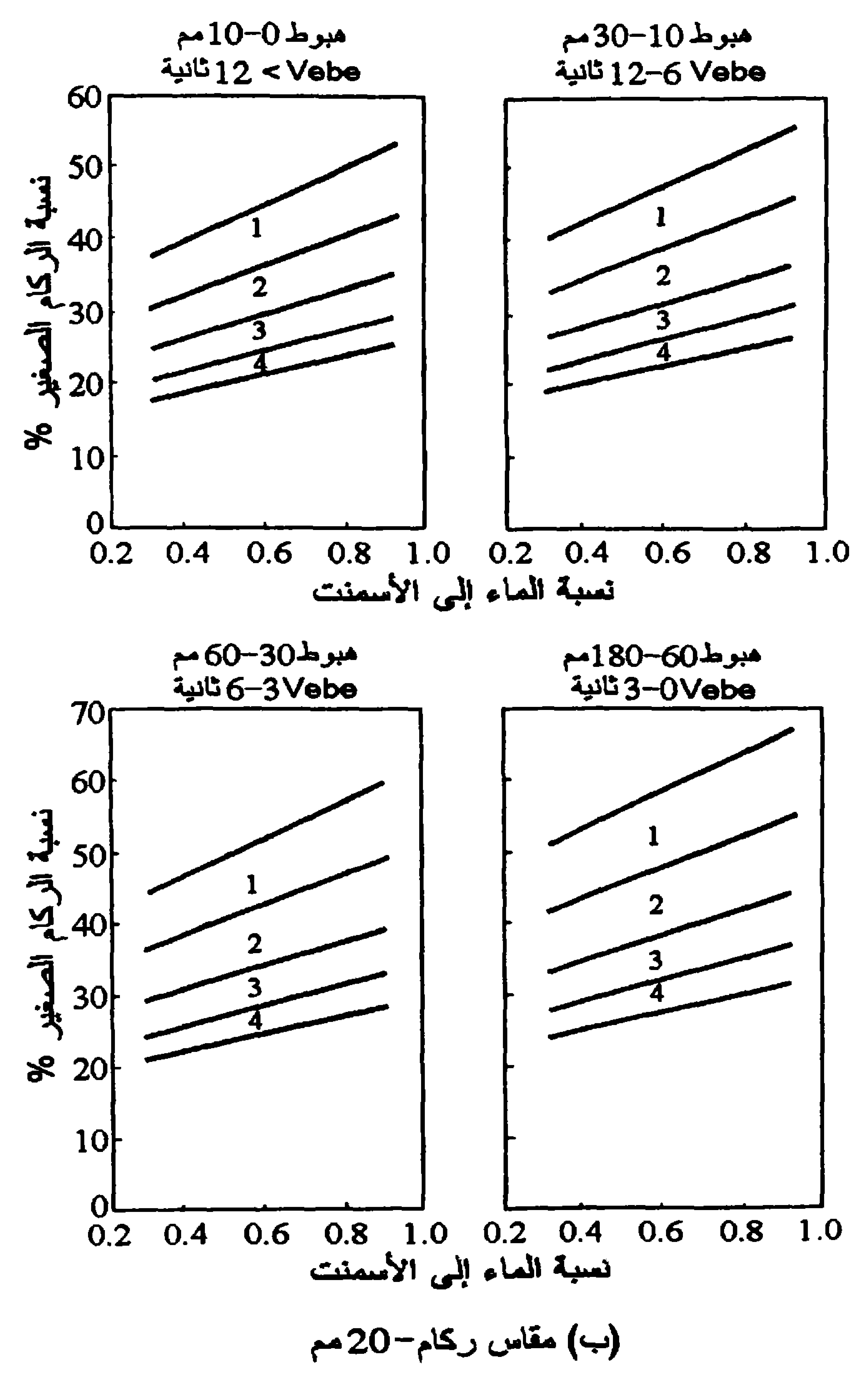
W وزن الماء (كجم/م^3).

6ـ تحديد محتوى الركام الصغير والكبير:

بمعلومية كل من المقاس الاعتبارى الأكبر والتشغيلية ونسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، و منطقة تدرج الرمل طبقا للمواصفات البريطانية (1 إلى 4) يمكن حساب نسبة الركام الصغير، وذلك باستخدام شكل (5ـ12).

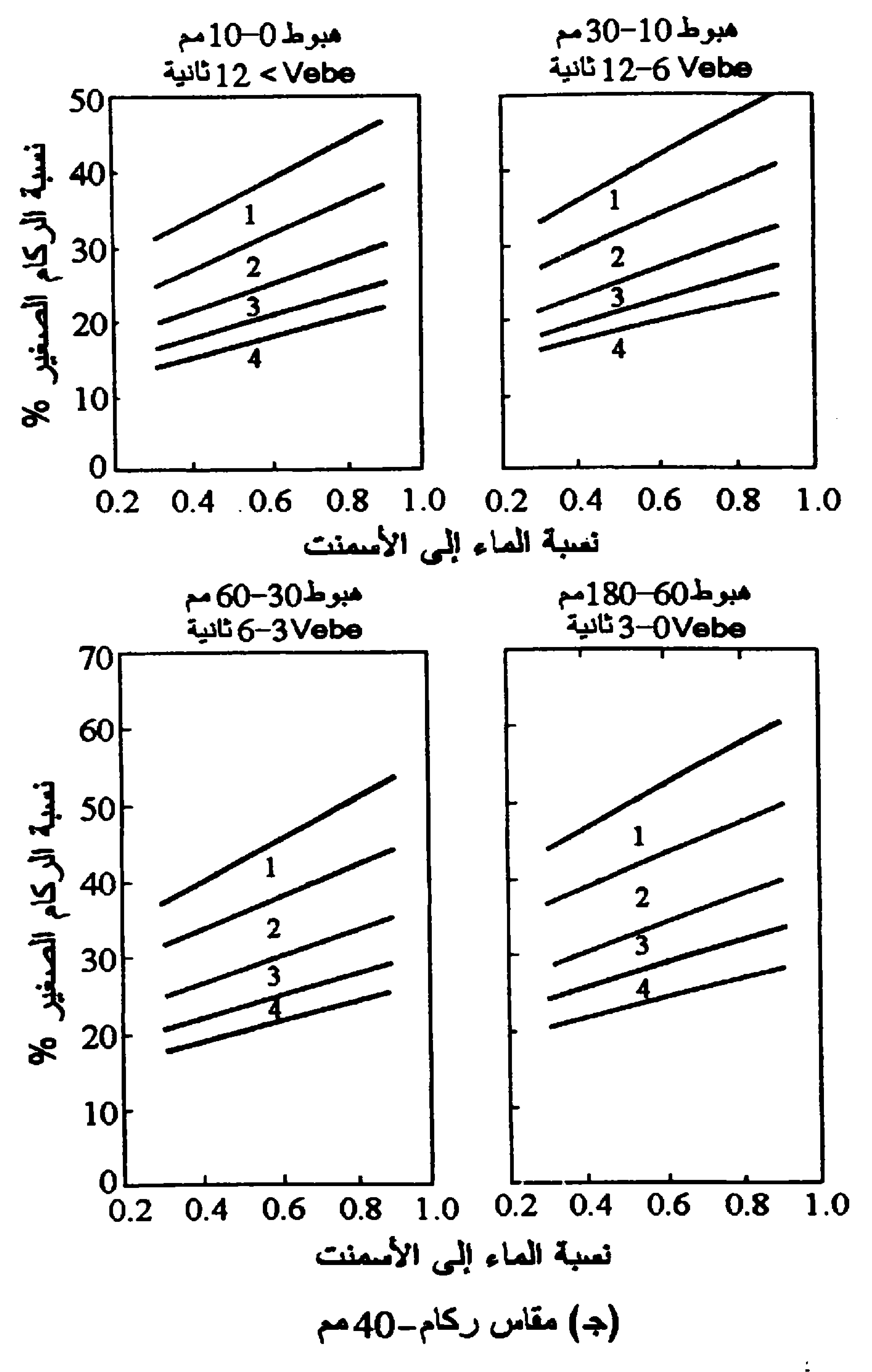


شكل (5-12) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه



(ب) مقاس ركام- 20 مم

شكل (5-12 مستمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه



(جـ) مقاس ركام–40 مم

شكل (5–12مستمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه

6-5 تجاه طريقة تصميم خلطة مصرية (موضوعة بالمؤلف) .

5 - 6 - 1 مقدمة :

يحتوى كود الخرسانة المصرى على بعض اشتراطات لخواص مواد الخرسانة وكذلك على حدود التحمل durability لكل من مهاجمة الخرسانة للكبريتات وللظروف المحيطة ولكن لاتوجد طريقه مصريه لتصميم الخلطه. والكاتب هنا بناء على بعض التجارب التى قام بها وبناء على النتائج المأخوذه من عدة مراجع وطريقة ACI والطريقة البريطانية يقترح طريقة لتصميم الخلطة الخرسانية ربما يعتمدها كود الخرسانة المصرى وهذه الطريقة تتميز عن الطرق الأخرى بأنها تغطى مقاومة ضغط للمكعب حتى مقاومة 730 كجم/سم^2 وتفرق بين الركام المكسر والركام الطبيعى فى مقاومة الضغط وتأخذ تأثير الاضافات فى الاعتبار كما ان مقاومة الركام تلعب دوراً هاماً فى الطريقه المقدمة .

5-6-2 خطوات التصميم :

يمكن تلخيص هذه الطريقه فى الخطوات التالية :

1 ـ الخطوه الأولى :

يتم إختيار واختبار المواد الملائمة للمشروع والتى تحقق اشتراطات الكود المصرى ويحدد معاير نعومة الرمل والمقاس الاعتبارى الاكبر للركام الكبير والوزن النوعى لكل من الرمل والركام الكبير على أساس أن الحبيبات مشبعة من الداخل جافة السطح .

2 ـ تحديد محتوى الماء :

من جدول (5-18) يتم تحديد محتوى الماء (wo) الذى يحقق هبوط معلوم للخرسانة الطازجه كدالة من المقاس الاعتبارى الأكبر للركام وهل الركام طبيعى (زلط) أم ناتج كسارات (مثل كسر الأحجار) وتم تحديد هذه القيم من العديد من الدراسات السابقة بالخدمت المحلية ورسائل الماجستير والدكتوراه المجراه فى مصر بالإضافة الى تجارب قام بها المؤلف.

جدول (5-18) محتوى الماء (W_o^*) كجم/م3 و محتوى الهواء %

نوع الركام الكبير	قيمة الهبوط (مم)	المقاس الاعتبارى الأكبر مم (بوصة)				
		("8/3)9.5	("2/1)12.5	("4/3)19	("1)25	("2/3)37.5
ركام مكسر	50-25	217	210	204	184	175
	100-75	234	222	210	198	187
	175-150	250	235	224	213	195
ركام طبيعى	50-25	198	185	185	174	164
	100-75	215	203	190	182	170
	175-150	230	217	203	195	177
محتوى الهواء	-	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0

* محتوى الماء يجب أن يزيد بضربه فى معامل 1.05 إذا استخدم غبار السليكا بنسبة 8-15% من وزن الأسمنت.

3 ـ تأثير الإضافات :
فى حالة وجود اضافات فى الخلطة الخرسانية سواء مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين من جدول (5-19) يتم حساب معامل التلدين(ρ_F) للإضافة وهوعباره عن محتوى الماء المكافئ لفعل 1 لتر من الإضافة فى التأثير لى الهبوط (فكرة هذا المعامل مقترح بواسطةالمؤلف وأ.د/ حافظ اليمنى وأ.د/ ابراهيم الدرويش وأ.د/ مصطفى شحاتة) وقيم هذا المعامل الموضحه بالجدول مأخوذه من العديد من الدراسات المختلفة التى قام بها المؤلف وعديد من الباحثين المصريين فى الجامعات المختلفة . يتم حساب التخفيض فى محتوى الماء ΔW نتيجة استخدام الاضافات بجرعه وزنها D .

$$\Delta W = \rho_F . D$$

اذا محتوى الماء المستخدم (W)

$$W = wo - \rho_F . D$$

جدول (5-19) قيم معامل التلدين (P_f)

جرعة الملدنات أو الملدنات العالية من وزن الأسمنت %	≤ 0.7	0.8 إلى 1.5	1.7 إلى 2.9
معامل التلدين	8.7	8.0	6.8

4 ـ اعتبار شروط التحمل Durability
يقوم المهندس بتحديد حالة المهاجمات الكيميائية أو الظروف المحيطة بالمنشأ والتى تنقسم الى مهاجمة الكبريتات فى حالة تعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات وفى تلك الحالة يستخدم الجدول رقم (5-20) ، الذى يوصى به الكود المصرى للخرسانة وبناء على محتوى الكبريتات (معبراً عنه بـ SO^3) والمقاس الاعتبارى الأكبر نحدد أقصى نسبة ماء الى أسمنت (W/C1) ومحتوى الأسمنت الأدنى Cmin ونوع الأسمنت والمقاومة المميزه الدنيا (fcu min) .

جدول رقم (5-20) متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة الكبريتية لتحقيـق كثافـة عاليـة ودمك كامل للخرسانة (مأخوذ من الكود المصرى للخرسانه) . *

تركيز الكبريتات فى صورة ثالث أكسيد الكبريت			نوع الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م3			الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت	الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم2
فى التربة		في الماء الأرضي		المقاس الاعتبارى الأكبر للركام مم*				
SO3 كلى%	SO3 فى مزيج من الماء والتربة بنسبة 1:2 جم/لتر	جزء فى المليون		32	20	10		
0.2>	أقل من 1	أقل من 300	بورتلاندى CEMI	350	400	400	0.52	-
-0.2 0.35	1.00 إلى 1.50	300 إلى 700	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	350	400	400	0.50	25
-0.35 0.50	1.50 إلى 1.90	700 إلى 1200	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	350	400	400	0.45	30
-0.50 1	1.9 إلى 3.1	1200إلى 2500	مقاوم للكبريتات	400	450	450	0.43	35
-1.00 2.00	3.1 إلى 5.6	2500إلى 5000	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	400	450	450	0.40	40

* فى حالة مايكون المقاس الإعتبارى الأكبر بين قيمتين مذكورتين فـى الجـدول تؤخـذ النتائج المناظره للمقاس الإعتبارى الأقل .

– ويجب اعتبار الظروف المحيطة الأخرى ويمثلها جدول (5-21) الموصى بة بـالكود المصرى ونستخرج منه نسبة الماء الى الأسمنت (W/C1) ومقاومـة الـضغط الـدنيا ، محتوى الأسمنت الأدنى Cmin وفى حالة مهاجمة الخرسانة بمـاء البحـر أو مهاجمـة الكبريتات والكلوريدات يستخدم أسمنت عالى الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى معدل (Type II ASTM) بشرط أن تكون محتوى C3A كما يلى :

$5 \leq C3A \leq 8\ \%$

وفى الحالات الأخرى التى لاتهاجم بالأملاح يستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى .

جدول رقم (5-21) قيم الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت و الحد الأدنى للمقاومة المميزة و الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطات الخرسانية لتأمين تحمل العناصر الإنشائية المعرضة لظروف ضارة مع الزمن (مأخوذ من الكود المصرى)

الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	الحد الأدني لمحتوى الأسمنت كجم/م3* المقاس الاعتبارى الأكبر للركام مم***			الحد الأقصي لنسبة الماء : الأسمنت *	الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم2
	32	20	10		
الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة	350	350	350	0.60	25
الخرسانة غير معرضة أو معرضة للظروف المحيطة الضارة، ولكنها مدفونة دائما تحت الماء أو معرضة للرطوبة	350	350	400	0.50	30
الخرسانة معرضة لظروف محيطة أو ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل أو الجفاف أو الغازات الخ ****	350	400	450	0.40	40

* إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول يؤخذ محتوي الاسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

5 ــ اعتبار مقاومة الضغط :

يتم تحديد مقاومة الضغط المميزه للمكعب القياسي (fcu) بحيث تكون الأكبر من مقاومة التصميم المطلوبة للمبنى أو المقاومة الدنيا التى أشرنا اليها المحدده من ظروف التحميل من الخطوة السابقه . يتم تحديد هامش أمان تصميم الخلطه ثم نحدد مقاومة تصميم الخلطة بإضافة المقاومة المميزه لهامش الأمان .

- يتم تحديد مقاومة ضغط تصميم الخلطه fm

$$Fm = fcu + M$$

ويحسب هامش الأمان M من المعلومات السابقه إن وجدت كما سيذكر فى بند ضبط الجوده رقم (5-7) .

ــ يستخدم جدول (5-22) فى حالة مقاومة ضغط حتى 40 ن/مم^2 لكلاً من الركام المكسر والغير مكسر والجدول (5-23) فى حالة خرسانه ذات مقاومة عالية لتحديد نسبة الماء الى الأسمنت التى تناظر مقاومة تصميم الخلطه .ويتم تحديد نسبة الماء للأسمنت التى تحقق fm ولتكن (W/C)2 .

جدول (5-22) مقاومة الضغط ($20 \le f_{cu} \le 40$ N/mm^2) و نسبة المياه للأسمنت

1- ركام غير مكسر

f_{cu} (N/mm^2)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39

2- ركام مكسر

f_{cu} (N/mm^2)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.78	0.70	0.65	0.62	0.58	0.45	0.52	0.49	0.47

جدول (5-23) مقاومة الضغط – نسبة المياه للأسمنت (الخرسانة عالية المقاومة)

1- ركام غير مكسر (زلط) ($40 < f_{cu} \le 50$ N/mm^2)

f_{cu} (N/mm^2)	41	42	43	44	45
نسبة w/c	0.382	0.371	0.360	0.349	0.339
f_{cu} (N/mm^2)	46	47	48	49	50
نسبة w/c	0.330	0.320	0.310	0.301	0.292

2- ركام مكسر ($40 < fcu \le 73$ N/mm2)

f_{cu} (N/mm^2)	42.5	45	47.5	50	52.5	55
نسبة w/c	0.450	0.436	0.420	0.400	0.380	0.363
f_{cu} (N/mm^2)	57.5	60	62.5	65	67.5	73
نسبة w/c	0.350	0.342	0.326	0.310	0.296	0.270

6 – يستخدم نسبة الماء الى الأسمنت (W/C) الأقل من 1(W/C) و2(W/C) .

7 – بمعلومية نسبة الماء الى الأسمنت ومحتوى الماء يتم حساب محتوى الأسمنت والذى يجب أن يزيد عن محتوى الأسمنت الأدنى c min .

8 – تحديد نوع وخواص الركام الكبير .

من الدراسات السابقة اتضح أنة فى حالة استخدام زلط طبيعى من الصعب الحصول على مقاومة ضغط أكبر من 50 ن/مم² نظرا لضعف مقاومة الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية ويجب ان يكون خواص الركام مناسبه للمقاومة المطلوبة كما هو موضح بجدول (5-24) .

– فى حالة استخدام كسر الأحجار يمكن الحصول على مقاومة ضغط عالية حتى (73 ن/مم²) نظرا لتحسن مقاومة الترابط ويفضل توريد كسر أحجار صلادتها تحقق الصلاده الموضحه فى جدول (5-24) . وفى حالة مقاومة الضغط الأكبر من 73 ن/ مم² توجد اشتراطات أخرى لاتدخل فى نطاق هذه الطريقة .

جدول (5- 24) نوع الركام الكبير و خواصه طبقاً لقيمة المقاومة

1- ركام غير مكسر (زلط)

	مستوى مقاومة الضغط	$40 \geq f_{cu} \geq 20$		$50 \geq f_{cu} \geq 40$	
	مقاومة ضغط المكعب	$20 = f_{cu}$	$40 = f_{cu}$	$40 = f_{cu}$	$50 = f_{cu}$
زلط	يستخدم أم لا	يستخدم	يستخدم	يغسل عند استخدامه	
	معامل التهشيم	25≥	20≥	20≥	13≥

2- ركام مكسر

	مستوى مقاومة الضغط	$40 \geq f_{cu} \geq 20$		$73 \geq f_{cu} \geq 40$	
	مقاومة ضغط المكعب	$20 = f_{cu}$	$40 = f_{cu}$	$40 = f_{cu}$	$73 = f_{cu}$
كسر أحجار	يستخدم أم لا	يستخدم		يستخدم	
	معامل التهشيم%	25≥	20≥	20≥	11≥
	لوس أنجلس%	30≥	25≥	25≥	14≥

9 ــ تحديد نسبة الرمل الى الركام .

جدول رقم (5-25) يحدد نسبة الرمل الى الركام الشامل (S/A) كداله من معاير نعومة الرمل ومستوى هبوط الخرسانة الطازجه (هبوط أقل من100 مم أو هبوط أكبر من 150مم) والمقاس الإعتبارى الأكبر للركام .

جدول (5-25) نسبة الرمل للركام الكبير (S/A)

* الهبوط				≥100مم			≤ 150مم		
نسبة w/c				0.4≥	≥0.45 w/c 0.65≥	0.65≤	0.4≥	≥0.45 w/c 0.65≥	0.65≤
معاير النعومة	2.8≤	المقاس الاعتبارى	10	0.39	0.45	0.46	0.41	0.45	0.47
			20	0.37	0.40	0.44	0.39	0.42	0.45
			40	0.36	0.37	0.43	0.36	0.39	0.43
	2.6≤		10	0.38	0.40	0.43	0.40	0.42	0.43
			20	0.37	0.39	0.43	0.39	0.40	0.43
			40	0.33	0.37	0.43	0.36	0.38	0.42
	2.3≤		10	0.37	0.39	0.43	0.36	0.38	0.43
			20	0.33	0.35	0.42	0.36	0.38	0.42
			40	0.33	0.34	0.42	-	0.37	0.42

* أى هبوط قيمته أقل من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 100 مم و كل ما هو أعلى من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 150مم

10 ــ التطبيق فى معادلة الحجم المطلق وحساب محتوى الركام (A) .

$$\frac{C}{3.15}+\frac{W}{1}+\frac{D}{Gsadmixture}+\frac{(S/A)A}{Gss}+\frac{A(1-S/A)}{Gsg}=1-Air$$

ــ من هذه المعادلة نحسب قيم محتوى الركام (A) .

ــ نحدد محتوى الرمل بضرب نسبة S/A × محتوى الركام .

ــ نحدد الكثافة النظرية γth . . $\gamma\ th = C + W + A + D$

ــ يتم تنفيذ خلطة خرسانية للتحقق من مقاومة الخلطة الخرسانية fm وهبوط الخرسانة والكثافة العملية .

5-7-1 مقدمة :

الخرسانة ماده غير متجانسه تقريباً حيث تتكون من عدة مواد هـى الأسـمنت والرمـل والركام الكبير والماء والإضافات ومما هو جدير بالذكر أن أى تغيير فى خـواص تلـك المكونات أو محتواها فى الخلطة الخرسانية أو فى كيفية صناعتها سـيؤدي ذلـك الـى اختلاف فى خواص الخرسانة .

وجدول رقم (5-26) يوضح نتائج مقاومة الضغط فى أحد المواقع ويتضح منـه تغيـر مقاومة الخرسانه وسنتناول فى هذا الجزء أسباب إختلاف مقاومة ضغط الخرسانة خلال فترة تنفيذ المنشأ وكيفية الحكم على جودة الخرسانة . وسوف يتم ان شاء الله ذكـر هـذا الموضوع الهام بالتفصيل فى كتاب ضبط الجوده الذى سيتم نشره ان شاء الله قريبا .

جدول رقم (5-26) مقاومة الضغط (ن/مم^2) لمجموعة من المكعبات القياسية لأحد المواقع

21	19	22	25	20	18	19	20	22	20
22	17	20	24	18	19	20	15	24	21
26	20	23	20	17	20	22	15	24	20
18	16	23	20	22	20	22	18	21	22
23	19	18	22	18	17	22	16	27	23
16	18	19	25	19	19	20	17	17	20
18	17	22	17	21	24	19	19	20	20
28	22	19	21	20	24	20	20	18	21
18	17	23	18	20	24	18	20	18	22
19	18	20	16	18	23	25	17	23	20

5-7-2 أسباب تغير مقاومة ضغط الخرسانة فى المشروع الواحد :

ينشأ التغير فى الخرسانة من عدة عوامل نوجزها في مايلى :

1 ـ تغير خواص الركام حيث أن الركام يتم توريده من محجر واحد ولكن يلاحظ حدوث تغير ولو طفيف فى خواص الركام ويؤدى ذلك الى اختلاف خواص الخرسانة ويزيد هذا الإختلاف لو تم التوريد من عدة محاجر واذا أردنا التحكم فى خواص الركام الكبير مثلاً فيمكن توريده على هيئة عدة مقاسات (إثنين أو ثلاثة) الى الموقع بحيث يتم خلطهم بنسب وزنية معينة فيقل الإختلاف .

2ـ تغير خواص الأسمنت :

حيث تتغير خواص الأسمنت بزيادة فترة التخزين ولذلك يجب إعادة إختبـاره اذا زادت فترة التخزين عن شهر وكذلك إختلاف وزن كيس الأسمنت عن 50 كجم .

3ـ إختلاف نسبة الماء الى الأسمنت :

حيث تتغير رطوبة الركام من وقت لآخر وبهطول الأمطار أو حدوث تسرب للمياه فـى الموقع. بتغير محتوى الماء تتغير نسبة الماء الى الأسمنت ويمكن التحكم فى ذلـك عـن طريق تحديد محتوى الماء فى الركام وعمل التصحيحات اللازمه .

4ــ تغيير مجموعة المهندسين والعاملين :
اذا حدث تغيير فى المهندسين المنفذين أو العمالة الفنية يحـــدث اخـــتلاف فـــى صـــناعة الخرسانة .

5ــ التغير الحادث فى صناعة الخرسانة من حيث التحكم فى التشغيليه والدمك

6ــ استخدام قوالب غير قياسية .

7ــ استخدام ماكينات غير معايره .

8ــ اجراء الإختبار بطريقة غير قياسية .

5-7-3 الحكم على جودة الخرسانة من جهة مقاومة ضغطها .

ــ يقوم المهندس بإختبار عينات قياسيه على مدار عمر المشروع . ثم يقوم بتجميع هـــذه المعلومات وعن طريق استخدام الأساليب الإحصائية يتم الحكم علـــى جـــودة الخرســـانة بإستخدام عدة طرق منها .

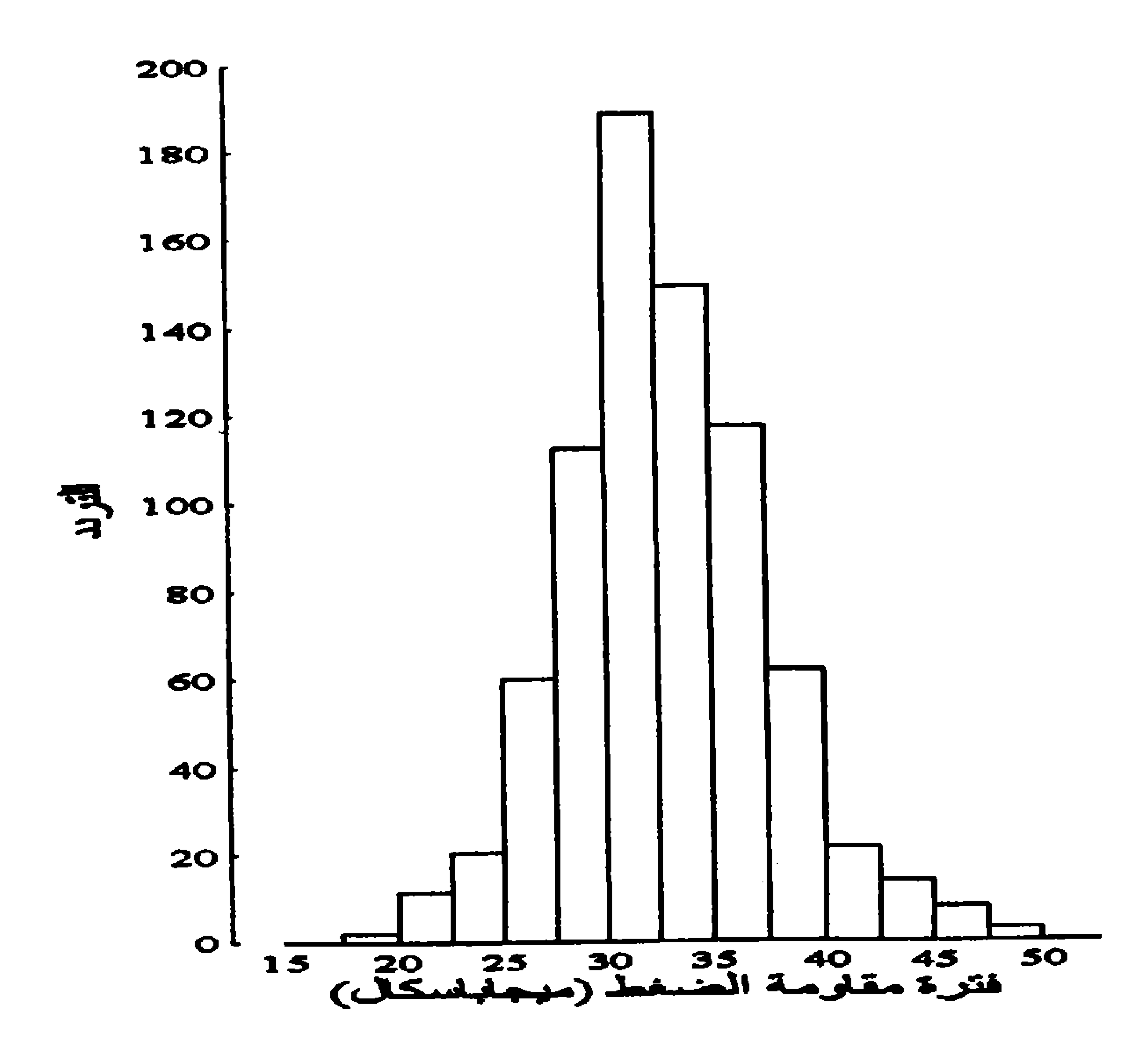
أ ــ المدرج التكرارى لمقاومة الخرسانة . Histogram

ــ يتم تجميع مقاومات ضغط الخرسانة وتقسيمها الى خلايا تبدأ من أدنى مقاومة ضـــغط وحتى أعلى مقاومة ضغط وكل خلية تمثل مدى من مقاومة الضغط (بفروق فى المقاومة قدرها 5 أو 10 أو 15 أو 20 كجم/سم^2)

ــ حصر عدد العينات التى تكون مقاومتها داخل كل خلية ولتكن (Ni) .

ــ يتم تحديد احتمال حدوث مقاومة ضغط تلك الخلية بقسمة العدد Ni على عدد العينـــات الكلى .

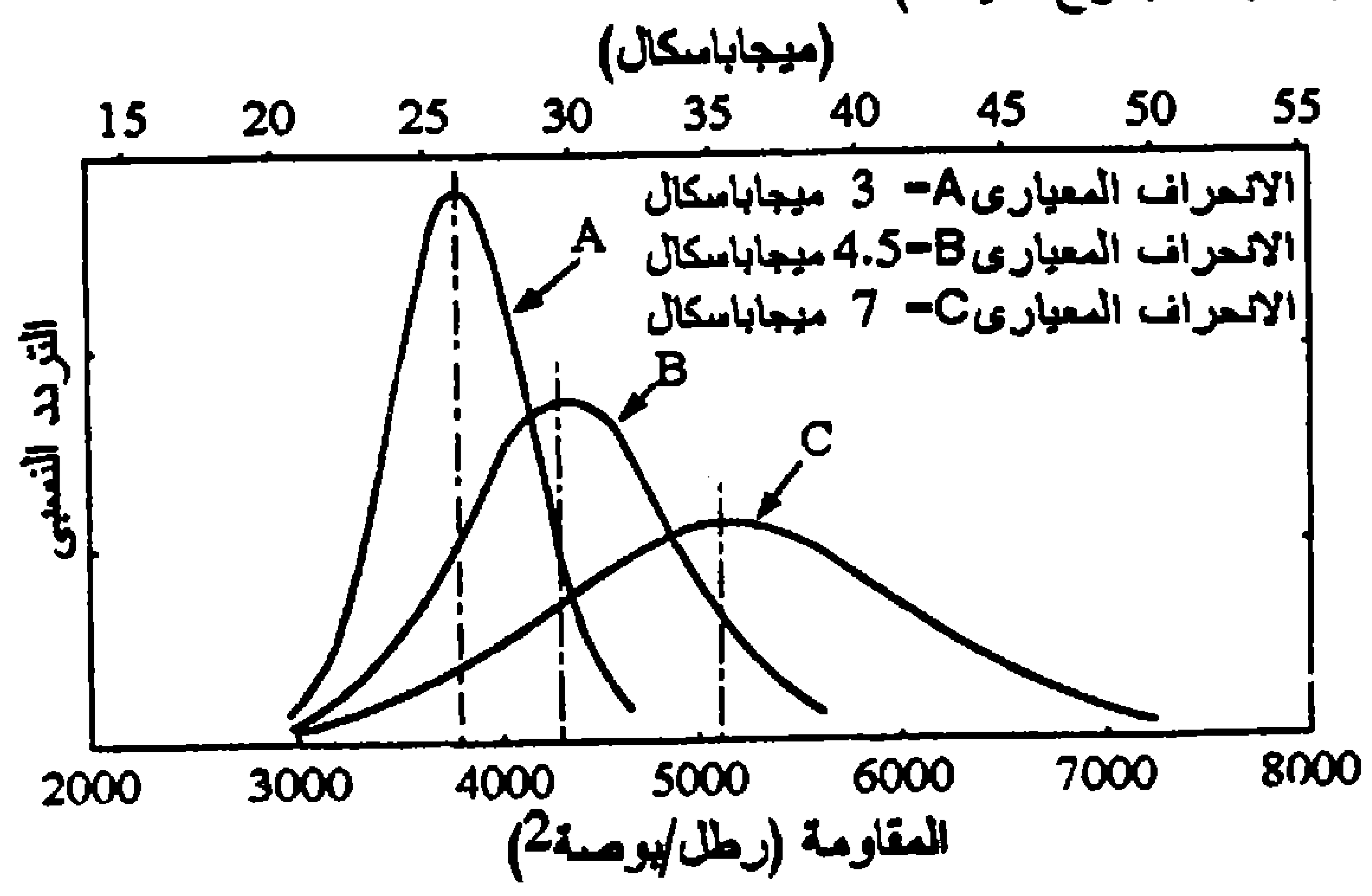
ــ يتم رسم منحنى المدرج التكرارى للمقاومات (Histogram) كما بشكل (5ــ13) .



شكل (5ـ13) منحنى المدرج التكرارى

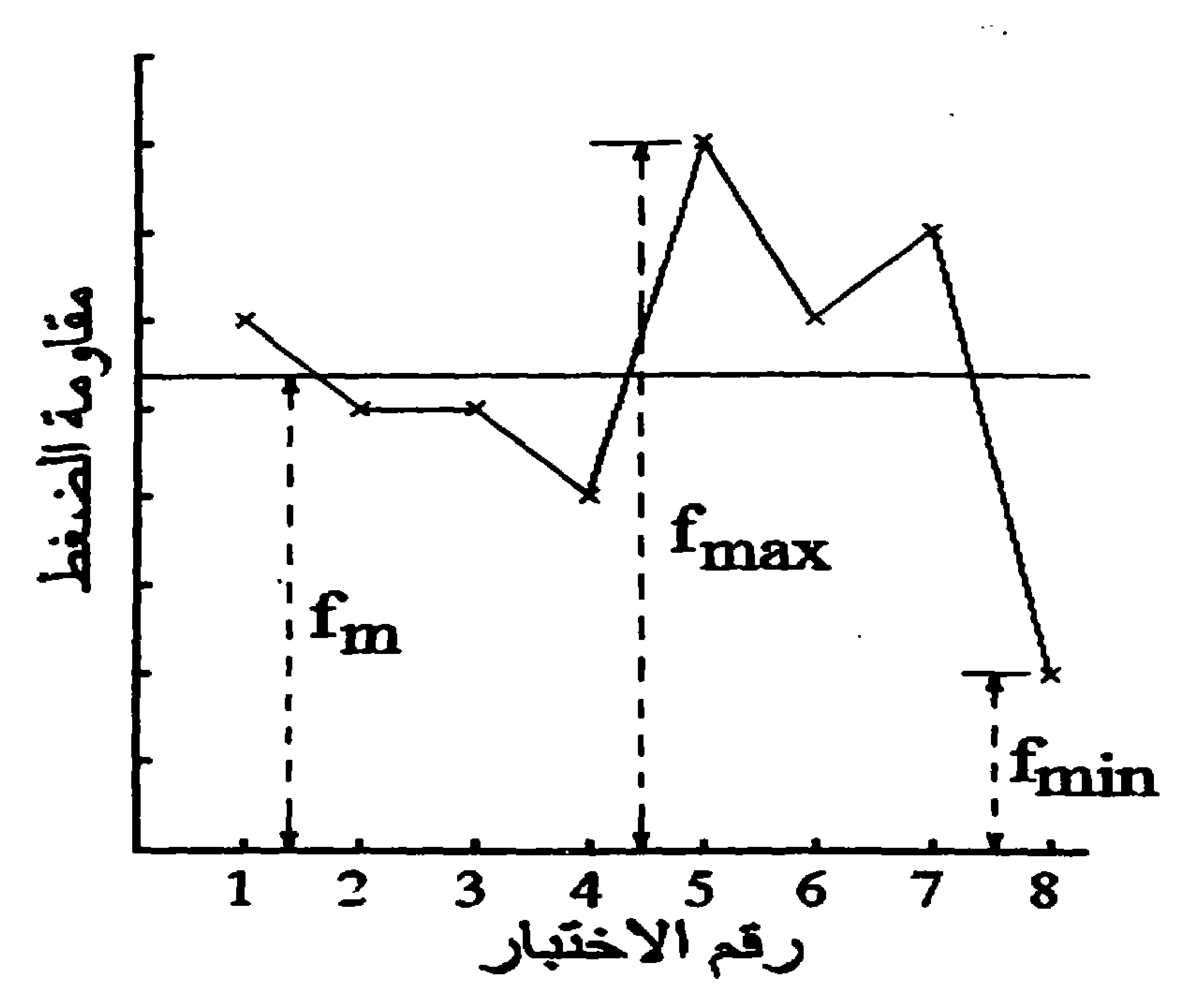
ب ـ المضلع التكرارى .

اذا تناقص مدى الخلية الواحده لأقل قيمة ممكنه يمكن رسم المضلع التكرارى كما هو مبين بشكل (5ـ14) والذى يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط واحتمالهـا (تكـرار الحـدوث للمقاومة بالنسبة لمجموع العينات).



شكل (5ـ14) المضلع التكرارى للمقاومة

ج ـ العلاقة بين مقاومة الضغط وأرقام الإختبارات .
يتم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الإختبار (اختبار رقم 1 ، 2 .....n) كما هـو موضح بشكل (5-15) .



شكل (5ـ15) العلاقه بين مقاومة الضغط ورقم الإختبار

د - الحكم على جودة الخرسانة حسابياً .
يلاحظ من شكل (5-15) أن مقاومة الضغط الدنيا لمشروع ما هى (f_{cu} min) ومقاومـة الضغط القصوى هى (f_{cu} max) ويتم حساب مقاومة الضغط المتوسطة ($f_{cu\ av}$) .

$$fcuav = \frac{fcu1 + fcu2 + fcu3 + ... + fcun}{n}$$

حيث n عدد الإختبارات .

يتم حساب الإختلاف (Δ) بين مقاومة اختبار معين (f_{cun}) ومقاومة الضغط المتوسطة fcuav

$$\Delta = F_{cun} - f_{cuav}$$

وكلما كانت Δ قريبة من الصفر دل ذلك على نقص التغير فـى مقاومـة الخرسـانة والعكس صحيح وللحكم على جودة الخرسانة يتم استخدام دليلـين احـصائيين همـا الانحراف المعيـارى (Standard deviation) لمقاومـة الـضغط (σ) ومعامـل الإختلاف (V) حيث :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(f_{cui}-f_{cuav})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\Delta_i^2}{n-1}}$$

$$V = \left(\frac{\sigma}{f_{cuav}}\right)x100$$

وجدول رقم (5-27) يحتوى على مستويات ضبط الجودة التى يستخدمها معهد الخرسانة الأمريكى للحكم على جودة مقاومة الخرسانة فى الموقع أو فى الخلطات المعملية .

جدول رقم (5-28) يحتوى على مستويات ضبط الجوده لخرسانة المنشآت التى يستخدمها الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية كدالة من قيم معامل الاختلاف .

جدول رقم (5- 27) استخدام قيم الانحراف المعيارى للحكم على جودة الخرسانة .

نوع الخلطات	الإنحراف المعيارى $6\ Kg/cm^2$				
	ممتاز	جيد جداً	جيد	مقبول	ضعيف
خلطات المنشآت الخرسانية	28.1	28.1 إلى 35.2	35.2 إلى 42.2	42.2 إلى 94.2	أكبر من 49.2
خلطات معملية	14.1	14.1 إلى 17.6	17.6 إلى 21.1	21.1 إلى 24.6	أكبر من 24.6

جدول رقم (5-28) استخدام قيم معامل الاختلاف للحكم على جودة الخرسانة .

درجة التحكم	ممتازه	جيده	مقبوله	رديئة
معامل الاختلاف V %	أقل من 10	10 إلى 15	15 إلى 20	أكبر من 20

5-7-4 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة (fm) والمقاومة المميزه(f_{cu}) .

كما هو مبين فى جدول (5-26) وشكل (5-15) يتضح مدى اختلاف المقاومات للعينات المأخوذه من موقع واحد فهل سيتم تصميم المبنى على أقصى مقاومة ($f_{max.}$)أم على مقاومة الضغط المتوسطة أم على مقاومة الضغط الدنيا ($f_{min.}$) . إن تصميم المبنى على أعلى مقاومة يعنى أن جميع مقاومات المبنى المنفذه ستكون أقل من تلك المقاومة كما أن تصميم المبنى على المقاومة المتوسطة فيعنى ذلك أن 50% من مقاومة المبنى محتمل أن تقل عن تلك المقاومة كما أن استخدام المقاومة الدنيا غير إقتصادى.

جميع الكودات العالمية تعتبر أن مقاومة الضغط المتوسطة = f_m هى مقاومة تصميم الخلطة وتكون مقاومة تصميم المبنى هى مقاومة الضغط المميزه (fcu) .
(Characteristic compressive strength) وتكون العلاقة بينهما كما يلى :

$$f_m = f_{cu} + M$$

حيث M = هامش أمان $f_{cu} = f_m - M$.

أى أن المقاومة المميزه هى مقاومة أقل من المقاومة المتوسطة وأعلى من المقاومة الدنيا .

5-7-4-1 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة (fm) والمقاومة المميزه(f_{cu}) .طبقا للكود المصرى :

1 ـ تعريف المقاومة المميزه وتحديد **هامش** الآمان :

ويعرف الكود المصرى للخرسانة المقاومة المميزه بأنها مقاومة ضغط المكعب القياسى (15×15×15 سم) عند عمر 28 يوم والتى من غير المحتمل أن يقل عنها أكثر من 5% من عدد نتائج اختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ وهى المقاومة التى يقوم المهندس الإستشارى بتصميم القطاعات الخرسانية بناء عليها
ويحسب هامش الآمان M كما يلى :

$$M = K * б$$

K= ثابت من احتمال فشل 5 % من العينات عن تحقيق المقاومة المميزه = 1.64(جدول 5-1) .

б = الإنحراف المعيارى لنتائج اختبارات مقاومة الخرسانه التى سبق للمقاول صبها فى ظروف مشابهه لظروف الإنشاء .

وجدول (5-29) يعطى قيم هامش الآمان سواء لخرسانة ذات مقاومة مميزه أكبر من أو أقل من 200 كجم /سم2 ويلاحظ أن الأصل هو حساب الإنحراف المعيارى من النتائج السابقه ويعطى الكود قيم دنيا لهامش الآمان فى حالة توافر 40 نتيجه على الأقل . وفى حالة عدم توافر 40 نتيجه أو توافر نتائج **أقل** يعطى قيمة ثابته لهامش الآمان كما هو موضح بجدول (5-29) .

ــ ويوصى الكود المصرى بعمل خلطات تجريبيه فى المعمل الذى يقوم بتصميم الخلطه ثم يوصى الكود بتنفيذ خلطات تأكيديه للمقاومة .

2 ــ الخلطات التأكيديه :

يجب على منتج الخرسانه أن يقوم فى الموقع بتنفيذ ثلاث خلطات خرسانية بالكمية التى تنتج فى الموقع ومن كل خلطة يأخذ تسعة مكعبات ثلاثه منها تختبر عند عمر مبكر (ثلاثة أو سبعة أيام) والباقى تختبر عند عمر 28 يوم .

ــ تعتبر الخلطه ناجحه فى حالة أن تحقق نتائج اختبارات الثلاث خلطات عند عمر 28 يوم الشروط الآتيه :

أ ــ لايقل متوسط مقاومة الضغط بعد 28 يوم لــ 18 مكعب عن 95 % من مقاومة تصميم الخلطه .

ب ــ لايقل متوسط الــ 18 مكعب عن المقاومة المميزه مضافاً اليها 65 كجم/سم^2

ج ــ لاتقل مقاومة أى مكعب منفرد عن المقاومة المميزه .

د ـ لايزيد الفرق بين مقاومة أكبر مكعب وأصغر مكعب فى الخلطة الواحده عن 15% من متوسط مقاومة الستة مكعبات الخاصة بهذه الخلطة .
ويمكن للجهه المشرفه فى أى وقت عمل خلطات تأكيدية اضافية بالخامات الموجوده في الموقع .

جدول (5-29) هامش أمان تصميم خلطات الخرسانة طبقا للكود المصرى

البيانات الإحصائية المتوفرة عن نتائج اختبار المقاومة	هامش أمان تصميم خلطة الخرسانة M عندما تكون المقاومة المميزة f_{cu}	
	F_{cu} >200 كجم/سم^2	F_{cu} < 200 كجم/سم^2
1ـ توافر 40 نتيجة اختبار أو أكثر بمواد وظروف مماثلة	(1.64×الإنحراف المعياري) ولا يقل عن 65 كجم/سم^2	(1.64×الإنحراف المعياري) ولا يقل عن 0.33 المقاومة المميزه
2ـ عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمواد وظروف مماثلة	130 كجم/سم^2	ولا يقل عن 0.66 المقاومة المميزه

* الاختبار يمثل عينة من ثلاث مكعبات أو اسطوانات.

5 – 7 – 4 – 2 المقاومة المميزه فى طريقة معهد الخرسانة الأمريكى .

يستخدم معهد الخرسانة الأمريكى عينات اسطوانية (15×30سم) لتحديد مقاومة الضغط عند 28 يوم . يهتم المعهد بأن لايزيد الفرق بين مقاومة تصميم الخلطة والمقاومة المميزه (f_{cy}) زيادة كبيره ويهتم كذلك بأن لايحدث نقص فى المقاومة فى تجارب متلاحقة.

أ ـ فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة للإسطوانه أقل من أو يساوى 350 كجم/سم^2 .
ـ يجب أن تحقق المقاومة المميزه الإشتراطات التالية :
(1) المقاومة المميزه هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال فشل ثلاث اختبارات متتابعة من تحقيق تلك المقاومة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$fm = f_{cy} + 1.34\,\sigma$

(2) المقاومة المميزه هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص المقاومات عنها بمقدار 34.5 كجم/سم^2 عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$fm = f_{cy} + 2.33\,\sigma - 34.5$

ب ـ فى حالة مقاومة الخرسانة المميزه الأكبر من 350 كجم/سم^2 .
ـ(1) تستخدم الشرط الأول فى البند (أ) .
ـ(2) المقاومة المميزه هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص المقاومات عنها بمقدار 0.10 كجم/سم^2 من المقاومة المميزه عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$fm = 0.90\, f_{cy} + 2.33\,\sigma$

ـ يحسب 6 من نتائج الاختبارات المتوفره لظروف مشابهه بحيث لايقل عدد العينات عن 30 .

ــ فى حالة وجود عدد من الاختبارات أقل من 30 وأكبر من أو يساوى 15 يحسب 6 used لهذه العينات ويتم تكبير الانحراف المعيارى 6 بضربه فى معامل تكبير (f) لتحصل على 6 used

6 used =f 6

وتحسب f طبقاً لجدول (5-30) .

جدول (5-30) قيم معامل التصحيح .

عدد العينات	30	25	20	15
معامل التصحيح f	1	1.03	1.08	1.16

فى حالة عدم وجود معلومات أو عدد اختبارات أقل من 15 إختبار يستخدم هامش آمان كما بجدول رقم (5−31) .

جدول (5−31) هامش الأمان كداله من مقاومة الضغط فى حالة عدم توفر نتائج أو توفر أقل من 15 نتيجه .

مستوى مقاومة الضغط كجم/سم^2 `fcy	fcy < 210	210 ≤ fcy ≤ 350	fcy > 350
هامش الأمان (M) كجم/سم^2	70	85	0.10 fcy + 35

5-8 أمثلة على تصميم الخلطات الخرسانية .

مثال (1) :

المطلوب تصميم خلطات خرسانية لمنشأ مقاومته المميزة للإسطوانة 250 كجم / سم^2 إذا كان هبوط الخرسانة المطلوب للأساسات 15 سم وتتعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتـات معبراً عنها (SO4 = 3000 جزء فى المليون) والهبوط المطلوب لباقى المنشأ 10 سم إذا علم أن المقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 1˝ ومعاير نعومة الرمـل 2.6 والـوزن النوعى للزلط والرمل 2.68 ، 2.6 ووحدة الوزن = 1.65 ، 1.70 طن/م^3 على الترتيب بفرض أن الإنحراف المعيارى = 40 كجم/سم^2 .

تصميم الخلطة الخرسانية الخاصه بالأساسات

ــ من جدول (5−3) محتوى الماء = 205 كجم ومحتوى الهواء = 1.5 % .

ــ من جدول (5−5) يستخدم أسمنت مقاوم للكبريتات ونسبة المـاء للأسـمنت W/C1 = 0.45 ومقاومة الضغط الدنيا = 310 كجم/سم^2

ــ مقاومة الضغط للإسطوانة = المقاومة القصوى من 250 ، 310 (المقاومة المميـزه = 310 كجم /سم^2 .

Fm1 = 310 + 1.34 (40) = 364.
Fm2 = 310 + 2.33 (40) – 34.5 = 368 kg/cm2 .
Use fcy m = 368 .

– من جدول (5–4) نسبة الماء للأسمنت W/C2 = 0.452 .
– نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.45
– وزن الأسمنت = 205 / 0.45 = 455 كجم . تقريبا تؤخذ = 450 كجم .
– من جدول (5–7) حجم الزلط للمتر المكعب = 0.69 م^3 .
ووزن الزلط = 0.69 × 1.65 = 1138.5 كجم .
– تحديد محتوى الرمل (S) بالتطبيق فى مقاومة الحجم المطلق .

$$\frac{0.205}{1}+\frac{0.45}{3.15}+\frac{1.1385}{2.68}+\frac{S}{2.6}=<1-\frac{1.5}{100}$$

Θ محتوى الرمل = 552 كجم .

ووحدة وزن الخرسانة النظرية = γth تقريبا = 2.350 طن/م^3

* تم عمل خلطة خرسانية فى المعمل وبقياس وحدة وزن الخرسانة فى المعمل = γerp = 2.40 طن/م^3

وهذا يعنى أن الكميات المستخدمة لاتكفى لانتاج 1م^3 ويتم اجراء التصحيحات التالية .

معامل التصحيح = $\frac{\gamma\, exp}{\gamma th}$ = 1.021

* الزياده فى الكميات يجب أن تكون فى الزلط والرمل مع الإحتفاظ بمحتوى الأسمنت والماء ثابت

– الزلط المعدل = 1.1385×1.02 = 1.162
– الرمل المعدل = 0.552×1.02 = 0.563
– وزن الأسمنت الذى كان مفترض أن ينقص = 0.450×0.021 = 0.00945 طن
∴ حجم الأسمنت الجامد = 0.00945/3.15 = 0.003
– وزن الماء الذى كان من المفترض أن ينقص = 0.205 × 0.021 = 0.0043 طن
حجم الماء = 0.0043 م^3 .
∴ حجم الماء والأسمنت = 0.003 + 0.0043 = 0.0073 م^3 .
هذا الحجم يتم زيادته للركام .
يلاحظ أن نسبة الزلط : الرمل
= 1.1385 : 558
أى بنسبة 2 : 1
∴ الوزن النوعى للركام الشامل = (2.60×1+2.68×2)/3 = 2.65
∴ وزن الركام ذو الحجم المكافئ لحجم الماء والأسمنت الذى كان المفترض زيادتة = 0.0073 × 2.65 = 0.0192
وزن الرمل الإضافى = 0.192 ×1/3 = 0.006
وزن الزلط النهائى = 1.162 + 0.0132 = 1.1752
وزن الرمل النهائى = 0.563 + 0.006 = 0.569

∴ وحدة الوزن = 0.205 + 0.450 + 1.1752 + 0.569 ≅ 2.399 طن/م^3

ـ من جدول (5-3) محتوى الماء 195 كجم ، مقاومة الضغط 250

$$Fcym=250+1.34(40)=304$$
$$Fcym=250+2.33(40)-34.5=308$$
$$Fcym = 308 \ kg/cm2$$

من جدول (5-4) نسبة الماء للأسمنت $\simeq$ 0.53

ـ محتوى الأسمنت = 0.53/195 = 368 كجم .

ـ لحساب محتوى الرمل

$$\frac{0.368}{3.15}+0.195+\frac{1.1385}{2.68}+\frac{S}{2.6}=0.985$$
$$0.215=\frac{S}{2.6}$$

محتوى الرمل = 646 كجم

الكثافة النظرية = 2.348

مثال (2) :

فى المثال السابق اذا كانت الأساسات عبارة عن خوازيق يتم تنفيذها فى بحيرة مريوط وكان تركيز أملاح الكلوريدات 40000 جزء فى المليون وأملاح الكبريتات مقدره ك SO3 = 3000 جزء فى المليون صمم خلطة خرسانية بطريقه ACI لتلك الخوازيق مع اعتبار جميع المتغيرات الأخرى كما هى .

الحل يستخدم جدول (5-6) للخرسانة المعرضه للمهاجمة بالكلوريدات والكبريتات فيكون نسبة الـ W/C = 0.40 وتكون مقاومة الإسطوانة 350 كجم/سم^2 .

$\therefore$ نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.40

المقاومة المميزه القصوى = 350 كجم/سم^2 .

$$Fcym = 350 + 1.34 (40) = 404$$
$$Fcym = 0.9 \times 350 + 2.33 (40) = 408$$

من جدول (5-4) للمقاومات .

$\therefore$ نسبة W/C للمقاومات = 0.412

تستخدم W/C =0.40

$\therefore$ محتوى الأسمنت = 0.40/205 = 512 كجم/سم^2 .

(محتوى الأسمنت عالى ويفضل استخدام مادة عالية التلدين)

يحسب محتوى الرمل S كما يلى .

$$\frac{0.512}{3.15}+\frac{0.205}{1}+\frac{S}{2.60}+\frac{1.1385}{2.68}=0.985$$

محتوى الرمل = 500 كجم/م^3

وحدة وزن الخرسانة = 2.355 طن/م^3

مثال (3) : على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم الخلطة السابقة بطريقة المؤلف وجداول التحميل الكود المصرى بفرض استخدام اضافات عالية تلدين بنسبة 1% من وزن الأسمنت واستخدام ركام مكسر. وان المقاومة المميزه لتصميم المنشأ للمكعب 300 كجم /سم^2

ـ محتوى الماء (W0) للركام المكسر = 213 كجم (جدول 5-18) .

محتوى الهواء المحبوس = 1.5 %

ـ مقاومة ضغط المكعب الخرسانيه = 0.8/250 = 312 كجم/سم^2

ـ الإنحراف المعيارى للمكعب = 40/ $(0.8)^{1/2}$ = 45 كجم/سم^2

ـ من جدول (5-21) للتحملية W/C = 0.40

ـ محتوى الأسمنت 400 كجم / م^3

ـ مقاومة ضغط المكعب الدنيا = 400 كجم/سم^2 (أكبر من المقاومة المميزه للتصميم)

∴ مقاومة الضغط القصوى = 400 كجم/سم^2

مقاومة تصميم الخلطة = 400 + 1.64(45) = 473.8 كجم/سم^2

لوس أنجليوس للركام التى تحقق هذه المقاومة = 22.5 % (جدول 5-24) نختار كسر الأحجار التى تحقق ذلك .

من جدول (5-22) نسبة الماء للأسمنت ≅ 0.42

∴ نسبة W/C الدنيا = 0.40

∴ محتوى الأسمنت = 0.40/213 = 532.5 (أوليا)

وزن الإضافة = 532.5×100/1 = 5.3 ≅ 5.3 كجم .

بفرض الوزن النوعى للإضافة = 1.20

حجم الإضافة = 1.2/5.3 = 4.4 لتر يستخدم 5 لتر .

∴ محتوى الماء المكافئ للإضافات = 8 × 5 = 40 لتر .(جدول 5-19)

∴ ماء الخلط (W) = (213) - (40) = 173 لتر .

∴ وزن الأسمنت الفعلى = 0.40/173 = 432.5 لتر ≃ 433

من جدول (5-25) نسبة الرمل / الركام = S/A

∴ محتوى الرمل (S) = 0.39 A

محتوى الركام الكبير (G) = 0.61 A

ـ بالتطبيق فى معادلة الحجم المطلق .

$$0.173+\frac{0.4330}{3.15}+\frac{0.39A}{2.60}+\frac{0.61A}{2.68}+0.005=0.985$$

$S=0.693ton$ $\qquad G=1.084ton$

ـ وحدة وزن الخرسانة = 2.39 طن /م^3

مثال (4) على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط هذه الخلطة = 700 كجم/سم2 وهبوطها 10سم والمقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 2/1 بوصه ومعاير النعومة للرمل 2.8 استخدم خواص الركام السابق وأجرى التصحيحات اللازمه اذا علم أن الرمل بة نسبة رطوبة 1.5 % والإمتصاص للركام الكبير = 1% . (استخدم طريقة المؤلف)

ـ من جدول (5-18) محتوى الماء Wo = 222

ـ محتوى الهواء = 2.5

ـــ المقاومة 700 كجم/سم^2 يستخدم كسر أحجار لوس أنجليوس له = 15 (جدول 5-24)
ـــ يستخدم دولوميت وبفرض أن وزنه النوعى = 2.68
ـــ من جدول (5-23) نسبة W/C = 0.285
ـــ محتوى الأسمنت التجريبى = 0.285/222 = 778 هذا الأسمنت محتواه عالى جداً
ـــ يفضل استخدام مواد عالية التلدين بمحتوى 1.5% بفرض أن الأسمنت 600 كجم/م^3
ـــ محتوى الإضافه باللتر 1.5/100×600/1.2 =7.5 لتر $\simeq$ 8 لتر
ρL = 8 من جدول (5-19) Δw = 64
$\therefore$ محتوى الماء W = 222-64 = 158
$\therefore$ محتوى المواد الأسمنتيه 158/0.285=554
يستخدم 10% غبار سليكا = 55 كجم
$\therefore$ الأسمنت = 504 كجم/م^3
ـــ من جدول (5-25) لنسبة الرمل للركام = 0.39 $\cong$ S/A

S = (0.39)A.
G = (0.61)A ويكون الركام الكبير

نفرض الوزن النوعى لغبار السليكا = 2.3

$$\frac{0.055}{2.3}+\frac{0.504}{3.15}+\frac{0.158}{1}+\frac{0.39A}{2.6}+\frac{0.61A}{2.68}+0.008=0.975$$

الرمل (S) = 0.645 ، كسر الدولوميت = 1.01 طن/م^3
ـــ تصحيح رطوبة الرمل .

$$\frac{X1}{S-X1}=\frac{1.50}{100}=\frac{X1}{0.645-X1}\therefore X1=9.5Kg$$

ـــ تصحيح امتصاص الركام X2

$$\frac{X2}{G}=\frac{1}{100}=\frac{X2}{10.1}$$

$$=10.1Kg$$

ـــ محتوى الرمل = S1= S + X1 = 654.5 كجم/م^3
محتوى الماء = W1 = W −X1 + X2
= 158 − 9.5 + 10.1 = 158.6 كجم/م^3 .
وحدة وزن الخرسانة = وحدة الوزن قبل التصحيح + X2 = 2.391 طن/م^3
يتم عمل تجربة عملية وتصحيح وحدة الوزن والهبوط .

مثال(5) (للطريقة البريطانية):
المطلوب تصميم خلطة خرسانية لمنشأ يتعرض لظروف عادية مقاومتة المميزه للمكعب = 40 ن/مم^2 عند 28 يوم بإستخدام أسمنت سريع التصلب وكان الهبوط المطلوب 150 مم وكان الوزن النوعى للركام الكبير المكسر 2.6 والرمل فى المنطقة الثانية للتدرج والمقاس الاعتبارى الأكبر 20 مم و الانحراف المعيارى 5 ن/مم^2 .
ـــ من جدول (5-17) محتوى الماء 225جم/م^3.
ـــ من جدول (5-16) المقاومة عند 28 يوم = 53 ن/مم^2 .

ـ من شكل (5ـ10) من نقطة تقاطع نسبة W/C = 0.50 ، مقاومة 53 كجم/سم^2 نرسم منحنى (بين منحنى مقاومة 80 ، 90 ن/مم^2) للعلاقة بين W/C ، مقاومة الضغط .

ـ مقاومة تصميم الخلطة = 40 + 1.64(5.0) = 48.2 ن/مم^2 .

ـ من المنحنى المرسوم عند مقاومة 53 .

∴ W/C = 0.52

محتوى الأسمنت = 0.52/225 = 433 كجم / م3.

من شكل (5ـ11) نجد أن وحدة وزن الخرسانة = 2390 كجم/م^3

∴ وزن الركام = 2390 − 225 − 433 = 1732 كجم/م^3

(يمكن استخدام معادلة الحجم المطلق بفرض الهواء صفر)

$$0.225 + \frac{0.433}{3.15} + \frac{A}{2.6} = 1$$

∴ وزن الركام = 1593 كجم .

ـ من شكل (5ـ12) الهبوط 150 مم ونسبة ماء الى أسمنت 0.52 وللمنطقة (2) تكون نسبة الرمل للركام المتوسطة 41.5 %

ـ محتوى الرمل = 0.415×1593=661 كجم/م^3 .

محتوى كسر الأحجار = 932 كجم .

مثال 6 على ضبط الجودة :

ـ الجدول التالي يحتوى على نتائج 50 إختبار ضغط مكعب قياسي . إحكم على ضبط جودة تلك الخرسانة بناء على الكود المصرى والـ ACI .

إحسب المقاومة المميزه طبقاً للكود المصرى و الـ ACI .

جدول قيم مقاومة الضغط كجم/سم^2 .

400	425	430	435	440	465	400	475	420	425
490	420	430	510	415	420	425	425	420	450
440	490	430	425	420	425	410	430	415	415
450	550	420	430	400	420	450	430	420	460
420	425	430	420	425	430	450	430	400	480

ـ المقاومة القصوى للمكعب = 550 كجم/سم^2 .

ـ المقاومة الدنيا للمكعب = 400 كجم/سم^2 .

* الكود المصرى .

ـ المقاومة المتوسطة للمكعب = 436 كجم /سم^2.

ـ الإنحراف المعيارى 6 = 21 كجم/سم^2 .

ـ معامل التغير = 436/21 = 4.816 % .

ـ التحكم ممتاز (جدول 5-28) .

ـ المقاومة المميزه للمكعب = المقاومة المتوسطة −1.64(6).

= 436 − 1.64(21) = 401.56

لكن الكود ينص على أن لايقل هامش الأمان عن 65 كجم/سم^2 .

∴ المقاومة المميزة = 436 − 65 = 371 كجم/سم^2 .

طبقا للـ ACI .

مقاومة الإسطوانة المتوسطة = 436 × 0.8 = 348.8

ـ الإنحراف المعيارى = 21 × $(0.8)^{1/2}$ ≅ 19

مقاومة الإسطوانة المميزه = 348.8 − 1.34 б = 321.6 ≃ 323 كجم/سم^2 .

مقاومة الإسطوانة المميزه = 348.8 − 2.33(19) + 34.5 = 339 كجم/سم^2 .

∴ مقاومة الإسطوانة المميزه لهذا المشروع = 323 كجم/سم^2 .

مثال (7) :

المطلوب حساب مقاومة تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط المكعب المميزه = 400 كجم/سم^2 (يتم الحل بالكود المصرى و ACI) اذا علم أن هذا المشروع سيتم تنفيذه بنفس خامات وأسلوب المشروع ذو النتائج فى المثال السابق . ⊄

ـ الكود المصرى .

Fcum = fcu + 1.64 б (б ⊄ 40 kg/cm^2)

Fcum = 400 + 1.64 (21) .

الكود المصرى ينص على أن الإنحراف المعيارى لايقل عن 40 كجم /سم2

= 400 + 1.64 (40).

= 465 kg/cm2 .

ـ طبقا للـ ACI .

Fcy = 0.8 (400) = 320 kg/cm^2 .

Fcym1 = 320 + 1.34 (19) = 346 .

Fcym2 = 320 + 2.33 (19) - 34.5 = 330 .

Fcym (المقاومة التصميمية للخلطة) = 346 kg/cm^2 .



الباب السادس
تحملية الخرسانة (Durability of Concrete)

6ـ1 عام:

إن الخرسانة بعد تمام شكها وتصلبها تتعرض للأحمال والقوى الخارجية الناشئة عن وزن المنشأ والأحمال المتحركة والرياح والزلازل وغيرها. وهى يتم تناولها من جهة تحقيق المقاومة والممطولية وباقي الخواص الميكانيكية، ثم توضع شروط التصميم النظرى لكل جزء من أجزاء المبنى. وعلى الجانب الآخر يتعرض المنشأ لعوامل المهاجمة المختلفة، والتى يمكن تلخيصها فى الأتى:

أ- المهاجمة الكيميائية، والتى تنقسم إلى:
1. المهاجمة بالكبريتات.
2. المهاجمة بماء البحر.
3. النض والتزهير والكربنة.
4. المهاجمة بالغازات.
5. الأحماض والقلويات.
6. صدأ صلب التسليح.
7. التفاعل القلوى للركام.

ب- المهاجمة الميكانيكية:
1. التثلج وذوبانه.
2. البلل والجفاف.
3. التغيرات الجوية.
4. التآكل بالبرى والنحر والاحتكاك.

ج- الحريق.

وهذه العوامل السابق ذكرها قد يكون لها الفعل الأكثر تأثيراً على المنشأ مقارنة بالأحمال الخارجية التى يسهل التعامل معها، لأن هذه العوامل المهاجمة قد يتولد عنها شروخ أو تفتت أو فقد للغطاء الخرسانى لصلب التسليح، وبالتالى يتأثر قطاع المنشأ وتزيد الإجهادات الناتجة عن الأحمال الخارجية الواقعة عليه، مما قد يؤدى إلى حدوث شروخ أو انهيار أو فقد المنشأ لأداء وظيفته التى أنشأ من أجلها. وعلى هذا يمكن تعريف خاصية التحمليه (أو التحمل) (Durability) للخرسانة بأنها الخاصية التى تعبر عن تحمل الخرسانة للظروف الخارجية أو الداخلية، الكيميائية أوالميكانيكية المحيطة بها أو الحريق، ومقدرتها على الاحتفاظ بشكلها الخارجي وتجانسها وعدم فقدها لمقاومتها وعدم حدوث شروخ أو تفتت أو انهيار جزئى أو كلى بها.

فكلما احتفظ المنشأ بشكله المعمارى وقام بأداء وظائفه وأهمها الوظائف الإنشائية، دون حدوث أضرار أو فقد لجزء من جساءة عضو من أعضائه أو فقد لمقاومته، قيل أن هذا المنشأ تحمليته جيدة. بينما إذا كانت الخرسانة عندها قابلية سريعة لظهور الشروخ وظهور التفتت وفقد المقاومة، قيل أن تحمليتها ضعيفة. وبذلك نجد أن التحملية خاصية نسبية فنقول تحمليه جيدة أو تحمليه مقبوله أو تحمليه ضعيفه.

ويمكن الحكم على التحمل فى المعمل من خلال قياس الفقد فى الوزن أو الفقد فى المقاومة أو قياس التمدد فى عينات معملية، مع ملاحظة تدوين حدوث تآكل أو تقشير أو شروخ أو تفتت فى هذه العينات المختبرة.

أما بالنسبة للمنشآت فى الموقع فيتم عمل تفتيش دورى عليها. ويتم الاستعانة بفحص بصرى من خبير يدون خلال هذا الفحص شكل وطبيعة الشروخ التى تظهر بالخرسانة وتصويرها. ويمكن أخذ عينات من المبنى وعمل اختبار الضغط والتحليل الكيميائى عليها والتصوير الميكرسكوبى والفحص بالأشعة السينية، لتحديد مقاومة الضغط وشكل التكوين الداخلى والمركبات الكيميائية للخرسانة على الترتيب، ومقارنتها بوضع وخواص المنشأ عند تنفيذه. كما يمكن الاستعانة بالاختبارات الغير متلفة لتحديد إمكانية وجود صدأ صلب التسليح أو تحديد مقاومة الخرسانة............ الخ.

والآن سنتناول المهاجمة الكيميائية، والتى ترتبط ارتباطاً وثيقاً بنفاذية الخرسانة.

6ـ2 نفاذية الخرسانة (Permeability of Concrete):

هى الخاصية التى تعبر عن حركة السوائل أو الغازات داخل الخرسانة. حيث أن الخرسانة يتطلب فيها أحياناً أن تكون غير منفذة مثل الخرسانة المستخدمة فى خزانات الماء والسوائل. وكلما كانت الخرسانة ذات نفاذية عالية، كانت حركة السوائل والأبخرة سهلة مما يعرضها للمهاجمات الكيميائية والميكانيكية، نتيجة نفاذ الماء حاملاً معه الأملاح الضارة، أو دخول الأكسجين وثانى أكسيد الكربون إلى داخل الخرسانة، مما يُعجّل ظهور صدأ صلب التسليح.

إن حركة الماء داخل الخرسانة ليس شرط أن تحدث نتيجة فرق فى ضغط الماء، ولكن يمكن حدوثها نتيجة وجود اختلاف فى نسبة الرطوبة بين الأماكن المختلفة فى الخرسانة. ويمكن الحكم عليها بنظريةالإنتشار (Diffusion Theory).

إن المونة الأسمنتية والركام كلاهما يحتوى على نسبة من الفراغات، هذا بالإضافة للفراغات التى تحدث بينهما. ومنظومة الفراغات مجتمعة تؤدى إلى زيادة نفاذية الخرسانة أو نقصها. وهذا يتوقف أساساً على مدى اتصال نظام الفراغات الداخلية من عدمه.

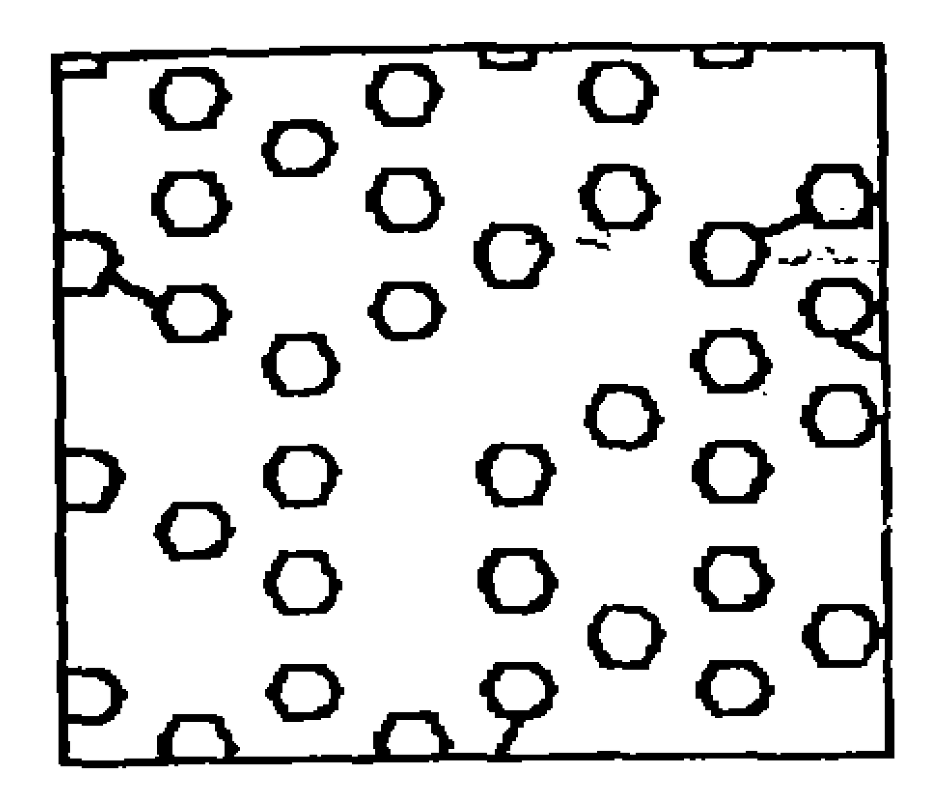
فعامة كلما زادت النسبة المئوية للفراغات تزيد النفاذية. ولكن أهم من ذلك طبيعة الفراغات، فهل الفراغات غير شعرية (أى غير متصلة) أو فراغات شعرية (أى متصلة). فوجود نسبة عالية من الفراغات الشعرية يؤدى إلى وجود شبكة داخلية من الفراغات تزيد من نفاذية الخرسانة. والعكس صحيح؛ لو قلت أو تلاشت الفراغات الشعرية تقل النفاذية، انظر شكل (6ـ1).

6ـ2ـ1 العوامل المؤثرة على النفاذية:

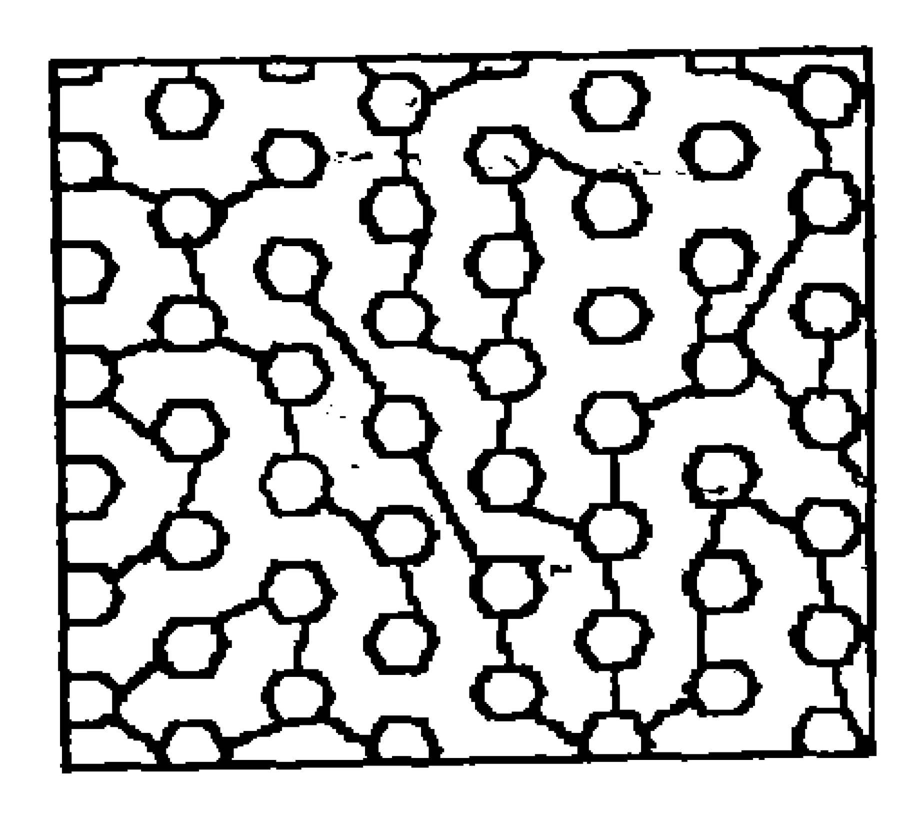
1ـ نسبة الماء إلى الأسمنت:

يعتبر هذا العامل من أهم العوامل. ويتضح ذلك من شكل رقم (6-1)، حيث أنه كلما زادت نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، يقل تركيز الجل فى الخرسانة وتزيد الفراغات الشعرية المتصلة، وبالتالى يزداد معامل النفاذية. والعكس صحيح؛ فكلما قلت نسبة W/C، يزداد تركيز الجل فى الخرسانة وتقل نسبة الفراغات الشعرية، فتقل نفاذية الخرسانة. ومما هو جدير بالذكر أن الخرسانة الكثيفة الغنية تحقق معامل نفاذية صغير جداً، مقارنة بصخور مثل الرخام والجرانيت. ولذلك فإن الاهتمام بصناعة الخرسانة من الممكن أن يحقق خرسانة غير منفذة للماء.

فراغات غير شعرية | فراغات شعرية



خرسانة
W/C=0.40
C=400 Kg/m3



خرسانة
W/C=0.70
C=400 Kg/m3

W/C (water cement ratio)
C (cement content)

شكل رقم (6ـ1) تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على الفراغات الشعرية والغير شعرية

2ـ تأثير المعالجة:

إن للمعالجة دور هام فى تقليل نفاذية الخرسانة، حيث أن المعالجة تعمل على استمرارية تكوُن الجل. وبالتالى يقوم الجل بكسر استمرارية شبكة الفراغات الشعرية الداخلية للخرسانة. فيعمل على إقلال النفاذية. ويتضح ذلك من جدول (6ـ1)؛ والذى يوضح زمن المعالجة اللازم للوصول إلى خرسانة غير منفذة.

جدول رقم (6ـ1) الزمن اللازم للوصول إلى شبكة فراغات شعرية غير متصلة .

نسبة W/C	زمن المعالجة المستمر اللازم (يوم)
0.40	3
0.45	7
0.50	28
0.60	180
0.70	365
أكثر من 0.70	لا يمكن تحقيقه

والجدول السابق يوضح أنه إذا زادت نسبة W/C عن 0.70، فإنه من الصعب الوصول لخرسانة غير منفذة مهما تم الاهتمام بالمعالجة. وعلى المهندس ألا ينسى أن هذا الأمر تم دراسته فى المعمل. ففى الحقل تنخفض هذه النسبة، وربما تصل إلى 0.55. وهذا يوضح لنا ويفسر كيف أن أغلب المنشآت السكنية تكون بلاطات الأسقف النهائية لها منفذة للماء بطريقة واضحة.

وهذا الجدول يوضح أيضاً أنه فى حالة تعرض الخرسانة لظروف خارجية مثل مهاجمة الأملاح، فإنه من المفضل الا تزيد نسبة الماء للأسمنت عن 0.45، حيث أن المعالجة فى الموقع تكون فى حدود 7 أيام.

3ــ عمر الخرسانة:

بالطبع فإن عمر الخرسانة له دور كبير في نفاذية الخرسانة. حيث أن الخرسانات الطازجة تكون فراغاتها متصلة. ومع مرور الزمن يبدأ الجل (سليكات الكالسيوم المماهة) وهيدركسيد الكالسيوم في ملء جزء من تلك الفراغات. ومع مرور الزمن يمكن أن يقطع الجل المتكون شبكة الفراغات المتصلة، ويقل معامل النفاذية لأقل درجة. ويتضح ذلك من جدول (6ــ2).

جدول رقم (6ــ2) تأثير عمر الخرسانة على نفاذية مونة الأسمنت W/C = 0.51

عمر الخرسانة (يوم)	معامل النفاذية (متر/ثانية)
طازجة	10^{-5}
1	10^{-8}
3	10^{-9}
4	10^{-10}
7	10^{-11}
14	10^{-12}
28	10^{-13}
100	10^{-16}
240	10^{-18}

4ــ وهناك عدة عوامل أخرى منها:

المقاس الاعتبارى الأكبر للركام؛ والذى أثبتت الأبحاث أنه كلما زاد أدى ذلك لزيادة معامل نفاذية الخرسانة. وكذلك نعومة الأسمنت؛ التى كلما زادت فإن الخرسانة تقل نفاذيتها لحسن انتشار وتوزيع الجل داخل الخرسانة. ويعتبر استخدام المواد الملدنة والمواد عالية التلدين (Plasticizer and Super-Plasticizer) من العوامل المساعدة على تقليل نفاذية الخرسانة، حيث أنها تسمح بتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت.

وقد أثبتت الأبحاث أن إضافة غبار السليكا بنسبة تتراوح بين 8، 12% من وزن الأسمنت يقلل من نفاذية الخرسانة. حيث أنه يتحد مع أكسيد الكالسيوم مكوناً جل. ويعمل غبار السليكا على ملء الفراغات الصغيرة، حيث إن قطر حبيبة غبار السليكا صغيرة لدرجة كبيرة جداً. كما أن دمك الخرسانة الجيد يقلل نسبة الفراغات الموجودة بالخرسانة ويحسن من كثافة الخرسانة.

6ــ2ــ2 اختبارات النفاذية:

وعموماً فإن معامل نفاذية الخرسانة يمكن قياسه معملياً عن طريق استخدام قانون دارسى للسريان $Q = AK\frac{H}{t}$.

حيث A مساحة مقطع العينة وK معامل نفاذية الخرسانة وH ارتفاع الماء (ضغط السائل)، t سمك العينة. ويتم الاختبار عن طريقة تعريض بلاطة بسمك صغير t من الخرسانة لضاغط ماء على سطح السائل ثم يتم تجميع الماء المار.

وفى المواصفات الألمانية يحسب K بتعريض عينة خرسانية لنفاذية ماء تحت ضغط قياسى معين لفترة معينة، ثم تؤخذ عينة الخرسانة وتكسر بتحميلها فى الضغط خطياً، ليحدث انفصال

بها. وبفحصها بصريا نحدد سمك اختراق الماء للخرسانة. وباستخدام نظرية الانتشار يحدد معامل نفاذية الخرسانة.

6ـ2ـ3 اختبار الامتصاص والوزن النوعى للخرسانه :

توضع عينات جافة فى الماء لمدة 48 ساعة، ثم تعرض لماء مغلى لفترة قياسية. ومنها النسبة المئوية للامتصاص الطبيعي والامتصاص الكامل ونسبة الفراغات، بالإضافة إلى الوزن النوعي والحجمى طبقاً لمواصفات (ASTM C 642) والتى سنذكر فكرتها فيما يلى:

1. تجفف العينة فى فرن التجفيف حتى يثبت وزنها، ثم توزن جافة وليكن وزنها (A).
2. تغمر عينة الخرسانة فى الماء لمدة 48 ساعة، ثم يجفف سطحها وتوزن (B).
3. تغمر الخرسانة فى الماء ويرفع درجة حرارته بطريقة قياسية ويترك فى الماء المغلى لمدة 5 ساعات، ثم يبرد بطريقة قياسية، ثم يجفف سطحها وتوزن بعد تجفيف سطحها (C).
4. توزن العينة فى ماء فى درجة الحرارة العادية معلقة وليكن الوزن (D).

ـ الامتصاص الطبيعى:

$$\text{Absorption after immersion\%} = ((B - A)/A)\times 100 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{—}6)$$

ـ الامتصاص الكامل:

$$\text{Absorption after immersion and boiling\%} = ((C - A)/A)\times 100 \ldots\ldots(2\text{—}6)$$

ـ الوزن النوعى الشامل:

$$\text{Bulk sp. gr. dry} = A/(C - D) = g_1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(3\text{—}6)$$

ـ الوزن النوعى الظاهرى:

$$\text{Apparent sp. gr. dry} = A/(A - D) = g2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{—}6)$$

ـ النسبة المئوية للفراغات الشعرية:

$$(C - A)/(C - D)\times 100 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(5\text{—}6)$$

ـ معامل التشبع = $\dfrac{\text{\% للامتصاص الطبيعى}}{\text{\% للامتصاص الكامل}}$ (موجودة فى المواصفات المصرية فقط)...(6ـ6)

وكلما كان الامتصاص الطبيعى متقارب مع الامتصاص الكامل، دل ذلك على زيادة نفاذية الخرسانة، والعكس صحيح.

6ـ3 مهاجمة الخرسانة بالكيماويات:

6ـ3ـ1 إماهة الأسمنت:

تتعرض الخرسانة فى الطبيعة فى بعض الأعمال الإنشائية إلى مجموعة مختلفة من الكيماويات. وتقاوم الخرسانة تلك الكيماويات حسب طبيعة المادة المهاجمة وتركيزها والاحتياطات التى يقوم بها المهندس. وحتى يمكن للمهندس تتبع سلوك الخرسانة عند مهاجمتها بالكيماويات، سنستعرض فيما يلى كلاً من تركيب الأسمنت وإماهة الأسمنت مختصراً. ويمكن الرجوع لباب الأسمنت للاطلاع على المعادلات الكيميائية الموزونة.

تركيب الأسمنت:

يحتوى الأسمنت المعبأ أو السائب على المركبات الكيميائية التالية:

- سليكات ثلاثى الكالسيوم C_3S.
- سليكات ثنائى الكالسيوم C_2S.
- ألومينات رباعى حديد الكالسيوم C_4AF.
- ألومينات ثلاثى الكالسيوم C_3A.

والمركبين الأولين لهما التأثير الرئيسى لإكساب الخرسانة اللدونة فى حالتها الطازجة، وإكسابها مقاومتها فى الضغط والشد عندما تتصلب الخرسانة.

وسنتناول فيما يلى إماهة الأسمنت:

سليكات ثلاثى الكالسيوم + الماء ← سليكات كالسيوم مماهة (الـچل) + هيدروكسيد الكالسيوم + حرارة عالية

$$C_3S + H_2O \rightarrow C-S-H + Ca(OH)_2 + \text{High Heat} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7\text{–}6)$$

سليكات ثنائى الكالسيوم + الماء ← سليكات كالسيوم مماهة + الماء+ حرارة عالية

$$C_2S + H_2O \rightarrow C-S-H + H_2O + \text{High Heat} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8\text{–}6)$$

ألومينات ثالث الكالسيوم+الجبس+الماء ← كبريتات الكالسيوم الألومينية المماهة (مونوسلفوألومينات)

$$C_3A + Gypsum + H_2O \rightarrow \text{Mono-sulfo-aluminate} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9\text{–}6)$$

مما سبق يتضح أن الخرسانة بعد إماهة الأسمنت تحتوى على هيدروكسيد الكالسيوم؛ وهو مادة بلورية تكسب الخرسانة وسطها القلوى الذى يحافظ على صلب التسليح بدون صدأ. وتحتوى على چل الأسمنت (C–S–H)؛ وهى المادة التى تحقق للخرسانة مقاومتها. وتحتوى كذلك على مادة مونوسلفوألومينات (كبريتات كالسيوم ألومينية مماهة). وهذه المادة تساعد جزئياً فى إكساب الخرسانة مقاومة مبكرة. بالإضافة إلى سليكات ثلاثى الكالسيوم؛ وهذه المادة لها دور هام جداً كذلك فى مقاومة انتشار ودخول أيونات الكلوريدات من الأوساط المحيطة إلى داخل الخرسانة، فيحمى الخرسانة المسلحة من احتمال حدوث صدأ.

6–3–2 مهاجمة الخرسانة بالكبريتات:

تتواجد الكبريتات فى صورة محاليل فى التربة أو الماء الجوفى أو على هيئة محاليل صناعية. ومن أمثلتها محلول كبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم وكبريتات الكالسيوم.
ويمكن تلخيص مهاجمة الخرسانة بالكبريتات كما يلى:

1– تكون الجبس:

تهاجم الكبريتات الموجودة فى الماء الجوفى هيدروكسيد الكالسيوم كما يلى:

كبريتات الصوديوم (كمثال) + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود فى الخرسانة) ←
هيدروكسيد صوديوم + كبريتات الكالسيوم (جبس) ....(6–10)

والجبس الناتج من هذا التفاعل يتميز أن حجمه كبير، مما يولد ضغوط داخل الخرسانة.

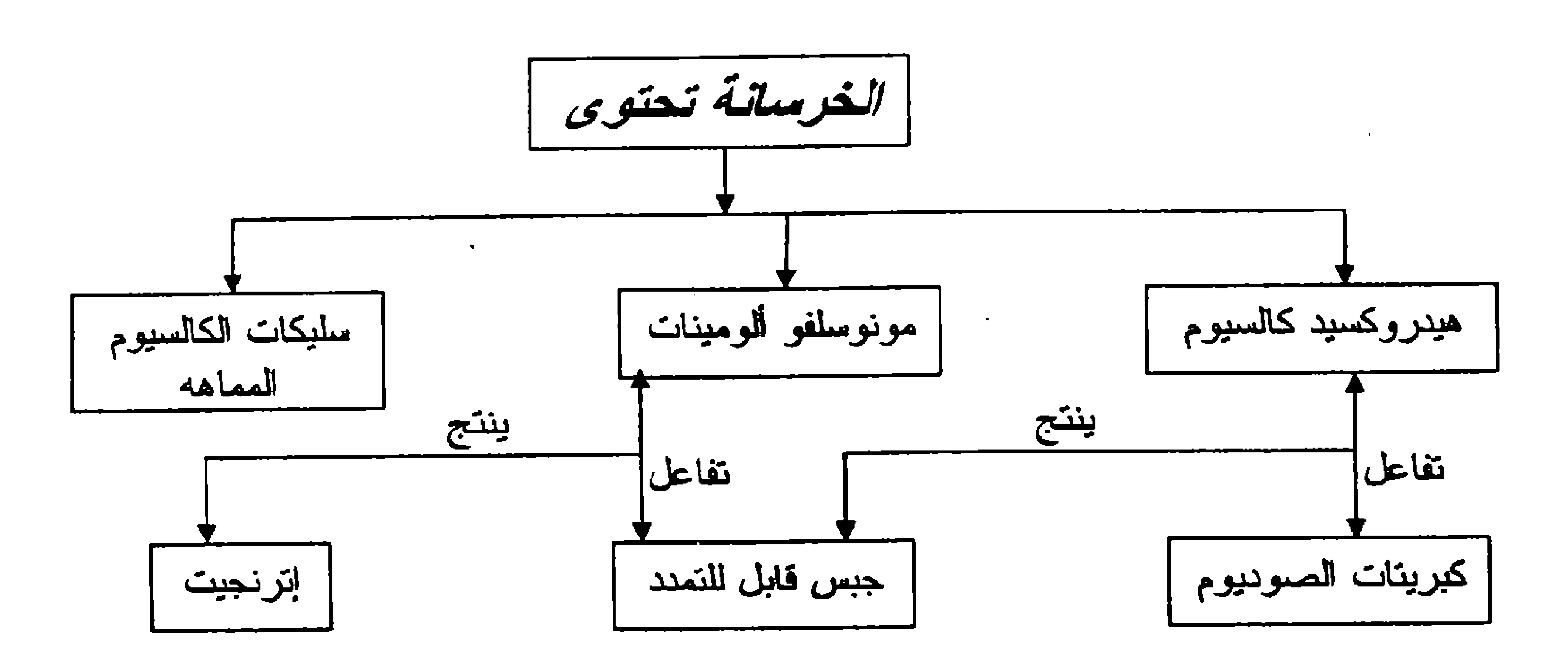
2– تكون ملح الأترنجيت:

كبريتات الكالسيوم (ناتجة من التفاعل السابق) + مونوسلفوألومينات (موجودة فى الخرسانة) ← الأترنجيت (كبريتات كالسيوم ألومينية مماهة)............(6–11)

والأترنجيت المتكون يحتوى على 32 جزء ماء فى تركيبه الكيميائى ويتميز بحجمه الكبير جداً إذا ماقورن بالمواد الداخلة فى التفاعل. وشكل (6–2) يوضح نموذج لتلك المهاجمة.

مما سبق يتضح أن وجود الكبريتات فى الأوساط المحيطة بالخرسانة يؤدى إلى تكون الجبس والأترنجيت. وهذه المواد تؤدى إلى زيادة حجم الخرسانة المتصلدة. ويمكن اعتبار أن عنصر الأترنجيت مماثل لفعل الخلايا السرطانية، حيث تتحول المواد الأسمنتية إلى مواد تؤدى إلى تفتت الخرسانة. فإذا تواجدت الكبريتات بتركيزات عالية تزيد كمية الجبس والأترنجيت المتكون وتزيد الضغوط الناشئة عن الزيادة الحجمية، مما يؤدى إلى ظهور الشروخ فى داخل الخرسانة وتفقد الخرسانة جزء من مقاومتها.

وتمثل مهاجمة كبريتات المغنسيوم حالة خاصة حيث أن تلك الكبريتات بالإضافة إلى الفعل السابق ذكره تهاجم جل الأسمنت، وتحول أجزاء منه إلى مادة غير أسمنتية. ولذلك يجب على المهندس التفريق بالتحليل الكيميائى للماء الجوفى بين الأنواع المختلفة للكبريتات.



شكل رقم (6ـ2) نموذج لمهاجمة الخرسانة بالكبريتات

6ـ3ـ2ـ1 العوامل التى تؤدى إلى سرعة مهاجمة الكبريتات:

1ـ تركيز الكبريتات:

كلما زاد تركيز الكبريتات فى الأوساط المحيطة يزيد الفعل السلبى للكبريتات على الخرسانة. انظر جدول (6ـ3)، والذى يوصى به الكود المصرى للخرسانة، والذى يقسم مستوى المهاجمة كدالة من ثالث أكسيد الكبريت.

2ـ تعرض الخرسانة إلى ضغط مياه كبير:

قد تتعرض الخرسانة فى الطبيعة إلى ضغط الماء الجوفى المحيط كما فى حالة الخزانات الأرضية أو الأنفاق مما يعجل من مهاجمة الكبريتات. وفى تلك الحالة يفضل عزل تلك المنشآت عن الماء الجوفى.

3ـ تعرض الخرسانة لعمليات البلل والجفاف المتتابعة: يعجل كثيرا من مهاجمة الكبريتات للخرسانة.

4ـ حركة المياه الجوفية:

المياه المتحركة بسرعة تعجل من مهاجمة الكبريتات للخرسانة، حيث أنها تعمل على ذوبان بعض مكونات التفاعلات.

جدول (6ـ3) متطلبات الخرسانة المعرضة للكبريتات

تركيز الكبريتات فى صورة ثالث أكسيد الكبريت			نوع الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت			الحد الأقصى لنسبة الماء:الأسمنت	الحد الأدنى للمقاومة المميزة ن/مم^2
فى التربة		فى الماء الأرضى		المقاس الاعتبارى الأكبر للركام – مم				
SO_3 الكلى%	SO_3 فى مزيج من الماء والتربة بنسبة 1: 2 جم/لتر	جزء فى المليون		32	20	10		
0.20>	1.00>	300>	بورتلاندى CEMI	350	400	400	0.52	–
-0.20 0.35	-1.00 1.50	-300 700	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	350	400	400	0.50	25
-0.35 0.50	-1.50 1.90	-700 1200	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	350	400	400	0.45	30
-0.50 1.00	-1.90 3.10	-1200 2500	مقاوم للكبريتات	400	450	450	0.43	35
-1.00 2.00	-3.10 5.60	-2500 5000	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	400	450	450	0.40	40

6ـ3ـ2ـ2 الاحتياطات اللازمة لتقليل المهاجمة بالكبريتات:

1. استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات:

حيث أن ذلك الأسمنت يتميز بأن نسبة ألومينات ثلاثى الكالسيوم C_3A صغيرة ، أى أقل من أو يساوى 3.5%. وهذه الكمية صغيرة إذا قورنت بالأسمنت البورتلاندى العادى والتى تتراوح فيه بين 8، 13%، وبالتالى تقل كمية الأترنجيت والجبس المتكونان، وبالتالى يقل تأثير الكبريتات فى حالة استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات.

2. إضافة المواد البوزولانية للأسمنت:

ممكن للمهندس إضافة مواد بوزولانية مثل غبار السليكا أو الميتاكاولين أو الرماد الطائر (Fly Ash) الى الخرسانة لتحسين أداء الخرسانة فى حالة وجود الكبريتات. وقد

اتفقت نتائج الأبحاث التى تم إجراؤها على أن استخدام المواد البوزولانية تحسن من تحمل الخرسانة لكبريتات الصوديوم، وذلك عن طريق تحويل هيدروكسيد الكالسيوم إلى چل.

مادة بوزولانية + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود بالخرسانة) ← چل أسمن ...(6ـ11)

وبالتالى يقل الجبس والأترنجيت نظراً لنقص هيدروكسيد الكالسيوم.

واختلفت الأبحاث على تأثير غبار السليكا علي تحمل الخرسانة المعرضة لمهاجمة كبريتات الماغنيسوم. ومعظم تلك الأبحاث توصلت إلى أن غبار السليكا له عامل سلبى على سلوك الخرسانة فى تلك الحالة. وسوف يتم تناول تأثير الإضافات المعدنية بالتفصيل فى باب الإضافات.

3. استخدام خرسانة لها معامل نفاذية صغير.
4. استخدام أقل نسبة ممكنة من W/C، انظر جدول (6ـ3) الذى يوضح نقص W/C مع زيادة تركيز الكبريتات .
5. استخدام خرسانة ذات كثافة عالية.
6. استخدام خلطة خرسانية غنية نسبياً بالأسمنت (زيادة محتوى الأسمنت)، انظر جدول (6ـ3).
7. المعالجة بالبخار.
8. المعالجة السطحية من الخارج لتقليل النفاذية.

6ـ4 ظاهرة الكربنة والإزهار(Carbonation and Efflorescence):

يوجد ثانى أكسيد الكربون فى الأجواء المحيطة بالخرسانة. ويبدأ هذا الغاز فى النفاذ داخل الخرسانة ويهاجم الخرسانة كما يلى:

ثانى أكسيد الكربون + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود بالخرسانة) ← كربونات كالسيوم + ماء ....(6ـ12)

وهذا الملح غير قابل للذوبان فى الماء لكنه يتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون كما يلى:

كربونات كالسيوم + ثانى أكسيد الكربون ← بيكربونات كالسيوم.......(6ـ13)

وملح بيكربونات الكالسيوم قابل للذوبان فى الماء، حيث يذوب ويتم خروجه من على سطح الخرسانة نتيجة الأمطار أو الماء الجوفى. وإذا تجمع الملح سواء كربونات الكالسيوم أو بيكربونات الكالسيوم مكوناً بقع بيضاء على السطح الخارجى للخرسانة، يسمى ذلك بظاهرة الإزهار (Efflorescence).

وقد يسلك تفاعل ثانى أكسيد الكربون طريقاً آخراً كما يلى:

ثانى أكسيد الكربون + ماء (بالخرسانة) ← حمض كربونيك..........(6ـ14)

حمض كربونيك + هيدروكسيد كالسيوم ← كربونات كالسيوم + ماء....(6-15)

وكربونات الكالسيوم تتحول كما سبق ذكره إلى بيكربونات الكالسيوم.

مما سبق يتضح أن ظاهرة الكربنة هى تحول هيدروكسيد الكالسيوم إلى مادة أخرى هى كربونات الكالسيوم أو بيكربونات الكالسيوم، وبالتالى تقل قلوية الخرسانة (PH).

6ـ5 المهاجمة بالأحماض (Acid Attacks):

تتواجد أبخرة الأحماض مثل ثانى أكسيد الكربون (CO_2) وثانى أكسيد الكبريت (SO_2) فى الأجواء المحيطة بالخرسانة. فيسبب إذابة وإزالة جزء من الأسمنت الذى شك (عن طريق إذابة هيدروكسيد الكالسيوم). ويحدث ذلك فى المداخن وأنفاق السكك الحديدية.

وعموماً لا يوجد أسمنت مقاوم للأحماض، وإنما يتم أخذ احتياطات لتقليل هذا التآكل. ويمكن اللجوء للخرسانة البوليمرية فى تلك الحالة.

ويمكن تقسيم مهاجمة الماء الحامضى للخرسانة طبقاً لـ DIN 4030 كما بجدول (6ـ4).

جدول (6ـ4) أنواع المهاجمة بالماء الحامضى

درجة المهاجمة	الماء الحمضى	
	PH	CO_2 جزء فى المليون
ضعيف	6.5-5.5	30-15
قاسى	5.5-4.5	60-30
قاسى جداً	4.5>	60<

وفى شبكات الصرف الصحى تتحول مركبات الكبريت (Sulfur Compounds) بواسطة البكتيريا اللاهوائية إلى كبريتيد الهيدروجين، الذى يتأكسد بواسطة البكتريا الهوائية للأجزاء الغير مغمورة بالماء، ويتحول إلى حمض الكبريتيك (Sulfuric Acid)، الذى يهاجم تلك الشبكات الخرسانية ويحدث لها تآكل وتحلل.

ويمكن تحسين مقاومة الخرسانة للأحماض وذلك بمعالجة الخرسانة بسليكات الصوديوم التى تتحد مع هيدروكسيد الكالسيوم، وتتكون سليكات الكالسيوم التى تقلل النفاذية. وفى حالة الخرسانة سابقة الصب يمكن تحسين مقاومتها للأحماض عن طريق حمايتها بواسطة تعريضها للتفريغ بواسطة غاز Silicon Tetra-Fluoride، الذى يتفاعل مع الجير وينتج مادة غير منفذة.

$$2Ca(OH)_2 + SiF_4 \rightarrow 2CaF_2 + Si(OH)_4 \qquad ....(16\text{—}6)$$

6ـ6 مهاجمة الخرسانة بماء البحر:

6ـ6ـ1 عـام:

النموذج المبين بشكل (6ـ3) يوضح أحد المنشآت البحرية، مثل حواجز الأمواج أو الأرصفة. ويوضح عليه مناطق التأثر بماء البحر، حيث تنقسم إلى ثلاثة مناطق. المنطقة الأولى هى المنطقة التى تكون دائماً أعلى من ماء البحر. والمنطقة الثانية هى المنطقة التى تقع بين أعلى منسوب لماء البحر وأدنى منسوب لماء البحر. والمنطقة الثالثة هى المنطقة التى تكون مغمورة دائماً تحت ماء البحر. وسنتناول فيما يلى كيفية مهاجمة المناطق الثلاثة.

- المنطقة الأولى (I):

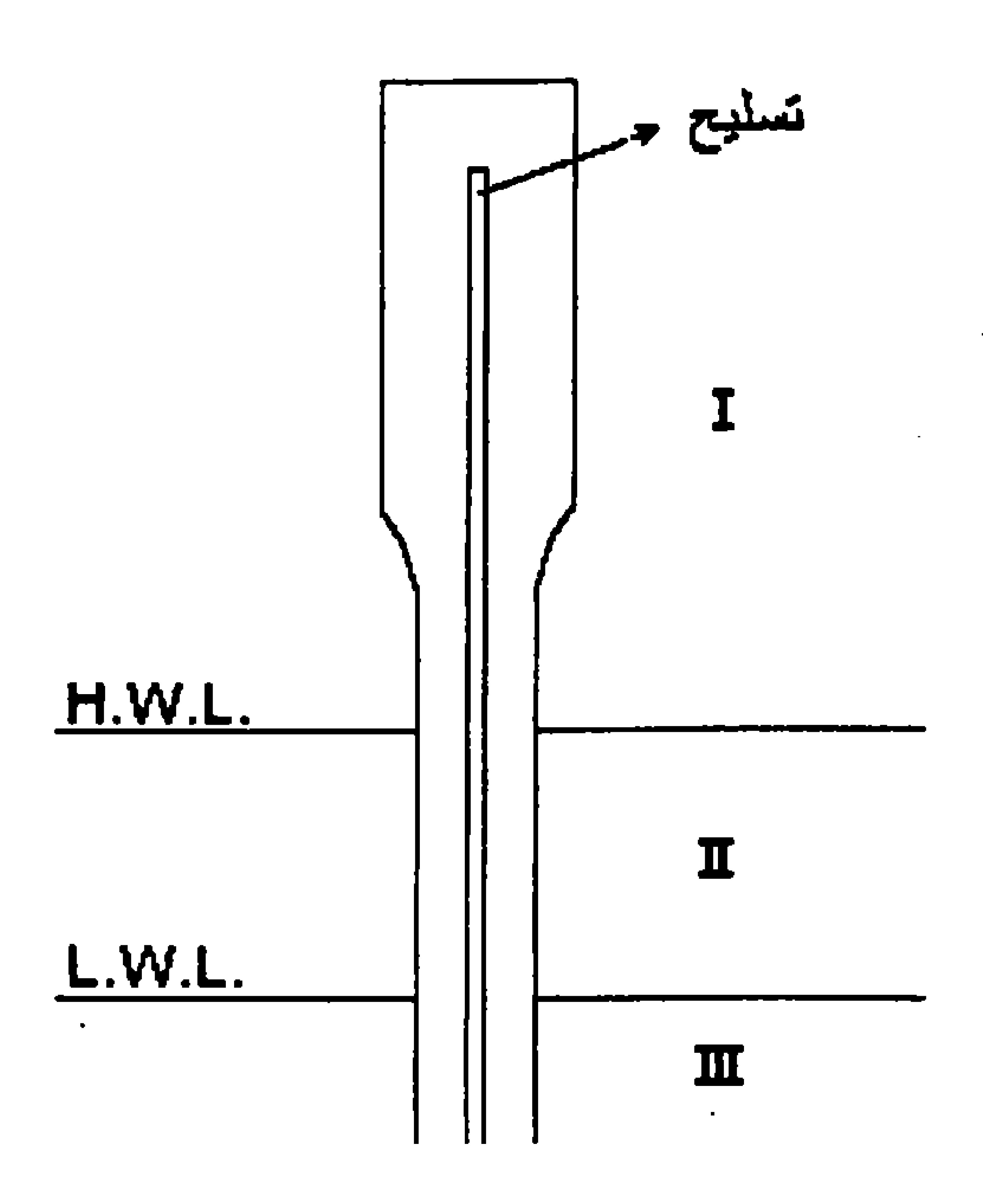
تهاجَم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر المتصاعد إلى أعلى بالخاصية الشعرية أو بالأمواج العالية، وتهاجَم ميكانيكيا بالبلل والجفاف والأمواج العالية وصدأ صلب التسليح.

- المنطقة الثانية (II):

تهاجَم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر، وميكانيكيا بالأمواج وما تحمله من عوالق مثل الرمال وغيرها. وتهاجَم ميكانيكياً أيضاً بتكون الثلج وذوبانه فى المناطق الباردة. كما تهاجَم بالتفاعل القلوى للركام أو بصدأ صلب التسليح.

- المنطقة الثالثة(III):

تهاجَم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر.



شكل (6-3) نموذج لمهاجمة الخرسانة بماء البحر

6ـ6ـ2 المهاجمة الكيميائية:

يتميز ماء البحر بوجود نسبة عالية جداً من أملاح الكلوريدات ونسبة عالية من أملاح الكبريتات وأملاح الماغنسيوم.

6ـ6ـ2ـ1 تأثير الكبريتات :

لوحظ من المنشآت البحرية والأبحاث أن تأثير أملاح الكبريتات الموجودة فى ماء البحر أقل من تأثير أملاح الكبريتات الموجودة فى الماء الجوفى. ويمكن تلخيص هذا الفعل كما يلى:

- تهاجم أملاح الكبريتات الخرسانة ويتكون الجبس وملح الأترنجيت، كما سبق ذكره فى مهاجمة الخرسانة بالكبريتات. ولكن لوحظ أن التمدد يكون قليل. وأرجع العلماء ذلك لوجود أملاح الكلوريدات بتركيز عالى، والتى تعمل على ذوبان كمية كبيرة من الأترنجيت المتكون وبالتالى يقل الضرر. كما لوحظ أن معدلات التفاعل بين الكبريتات والخرسانة تقل نتيجة وجود ملح البروسيت، والذى يتكون من اتحاد عنصر الماغنيسوم الموجود بماء البحر مع سطح الخرسانة الخارجى كما يلى:

  أكسيد ماغنسيوم + هيدروكسيد صوديوم ← هيدروكسيد ماغنسيوم + أكسيد صوديوم ....(6ـ17)

- وملح هيدروكسيد الماغنسيوم (بروسيت) هو ملح نفاذيته منخفضه جداً. ويعتبر مادة عازلة متكونة على سطح الخرسانة الخارجى، مما يصعب دخول محلول الكبريتات إلى داخل الخرسانة لمهاجمتها.

وأثبت الفحص للمنشآت البحرية والتصوير تحت الماء الذى قام به المؤلف لبعض المنشآت البحرية مثل رصيف حوض البترول بميناء الأسكندرية، أن المنطقة الثالثة المغمورة هى أقل المناطق تأثراً، لوجود ملح هيدروكسيد الماغنسيوم. أما المنطقة الثانية فهى أشد المناطق تأثراً، نظراً لتأثير الأمواج الديناميكى على سطح الخرسانة وتكسير طبقة ملح هيدروكسيد

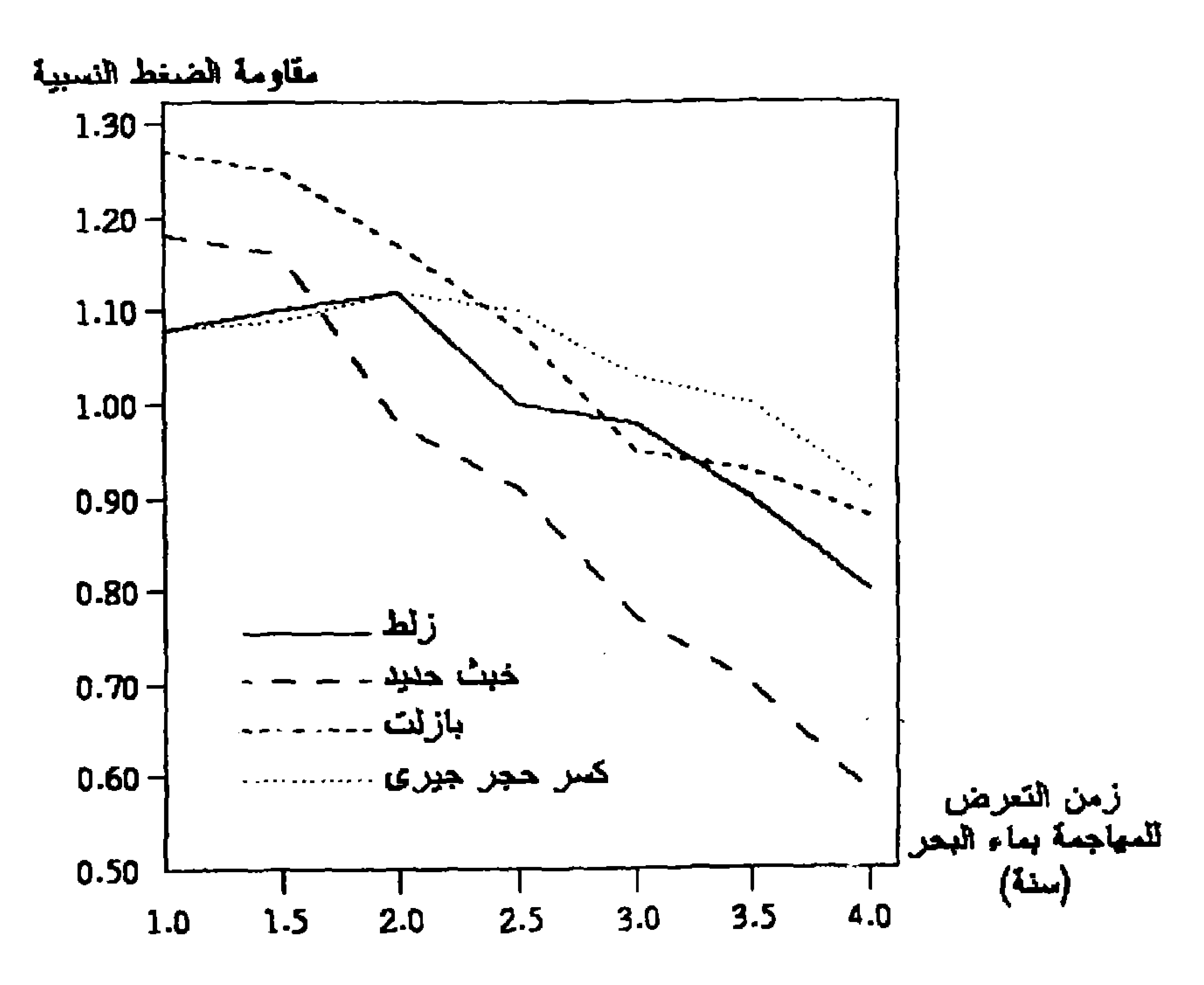
الماغنيسوم، مما يعجل من مهاجمة الخرسانة. وهذا الاستنتاج تم التوصل إليه من قِبَل جميع الأبحاث السابقة.

6ـ6ـ2ـ2 مهاجمة الكلوريدات:

يتوقف تأثير الكلوريدات على الخرسانة، على طبيعة المنشأ؛ هل المنشأ من خرسانة عادية أم من خرسانة مسلحة. فينقسم تأثير ملح الكلوريدات الموجود فى ماء البحر أو الملاحات إلى تأثير على الخرسانة وتأثير على صلب التسليح. والتأثير الكيميائى للكلوريدات يتمثل فى تأثيره على الخرسانة العادية التى يتم صبها فى ماء البحر أو فى الماء الجوفى المحتوى على نسبة عالية من الكلوريدات، حيث تؤثر أملاح الكلوريدات على كمية الـجل وترتيبه. مما يقلل من مقاومة الضغط بعد 28 يوم، بالرغم من تحسينه للمقاومة المبكرة. ويجب على المهندس أخذ ذلك فى الاعتبار عند تصميمه للخلطة. بحيث ترفع قيمة المقاومة المميزة لتلاشى هذا النقص. أما تأثير الكلوريدات على صلب التسليح، فسيتم مناقشته فى ظاهرة صدأ صلب التسليح التى سنتناولها فى البند (6ـ7).

6ـ6ـ2ـ3 تأثير عوامل أخرى على مهاجمة ماء البحر للخرسانة:

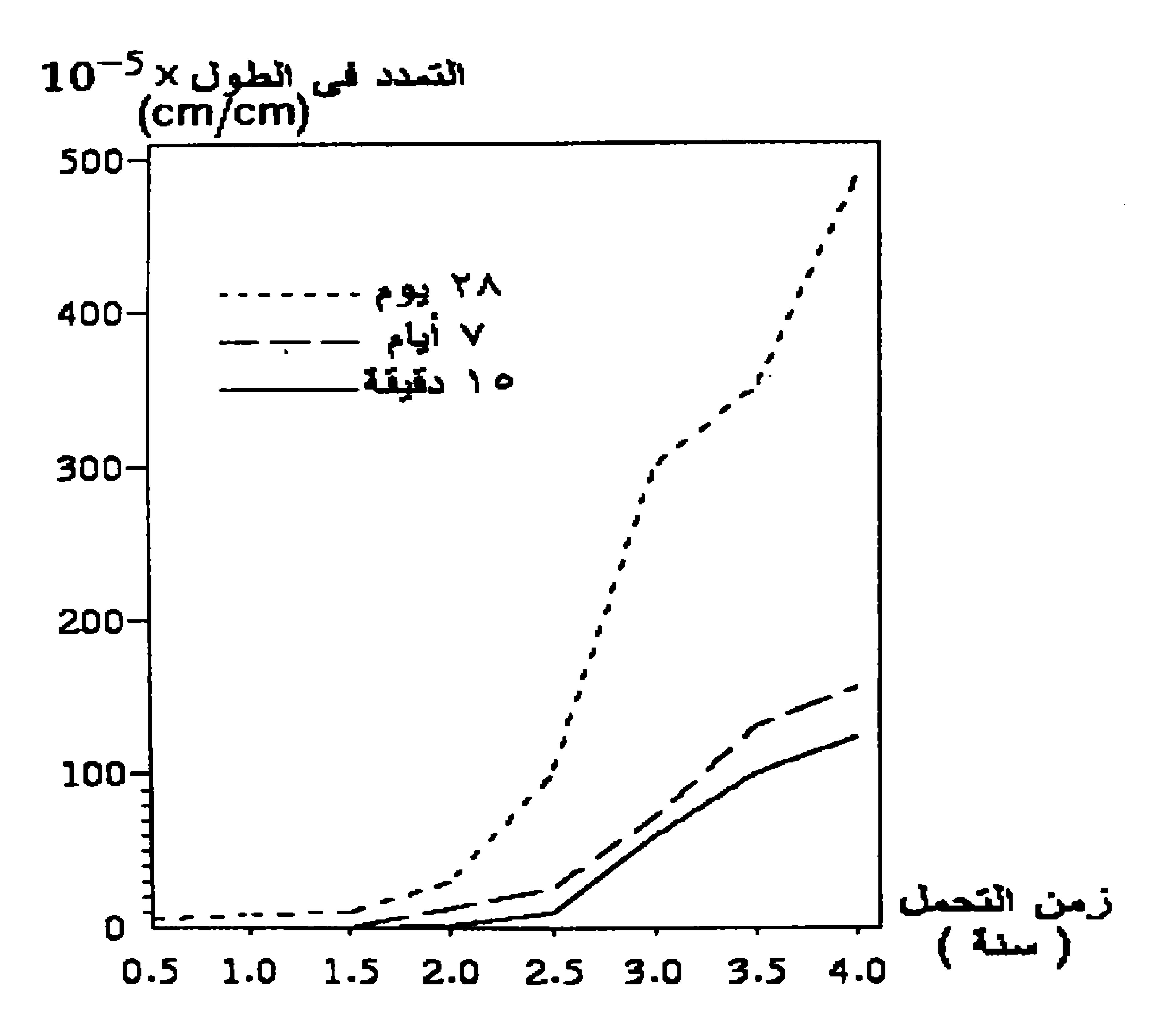
وقد قام المؤلف بعمل دراسة حقلية، قام خلالها بفحص كتل حماية الشواطئ المستخدمة لحماية شاطئ الأسكندرية من الأمواج، وكذلك بعض المنشآت الأخرى. وأثبتت الدراسة أن استخدام كسر الحجر الجيرى فى الخرسانة المعرضة لماء البحر كركام كبير أعطى سلوكاً أفضل من سلوك الزلط والبازلت. وأثبتت الدراسة العملية هذه النتيجة، كما هو واضح فى شكل (6ـ4).



شكل (6ـ4) تأثير نوع الركام على تحمل الخرسانة لماء البحر

وربما يعود أفضلية الحجر الجيرى لأن معامل التمدد الحرارى له أقل من الزلط بالإضافة إلى تحسن مقاومة الترابط.

وقد تم دراسة تأثير فترة المعالجة قبل صب أو تنزيل الخرسانة لماء البحر. وشكل (6ــ5) يوضح دراسة فترة المعالجة. وهذا الشكل يوضح أن أقل تمدد كان بعد فترة معالجة قدره 15 دقيقة؛ أى عند صب الخرسانة فى ماء البحر. وكان أكبر تمدد عند تعريض الخرسانة لماجمة ماء البحر بعد 28 يوم من الصب. وربما يعود سبب قلة التمدد فى الخرسانة التى يتم صبها فى ماء البحر إلى بدء تكون البروسيت مبكراً فى داخل الخرسانة.



شكل (6ــ5) تأثير فترة المعالجة على التمدد الناتج من ماء البحر

6ــ2ــ6ــ4 تأثير الصقيع على الخرسانة:

يعرف الصقيع بأنه تحول الماء بداخل الخرسانة إلى ثلج وبالتالى يزيد حجمه عن حجمه الأصلى.

1ــ تأثير الصقيع على الخرسانة الطازجة:

إذا حدث صقيع للخرسانة قبل أن تشك، فإن ماء الخلط سوف يتجمد ويحدث زيادة ملحوظة فى حجم الخرسانة وتأخير كبير فى زمن الشك والتصلد للخرسانة. وإذا استمرت الخرسانة فى درجة الحرارة المنخفضة، فسوف تستمر عملية عدم شكها. فإذا حدث بعد ذلك نوبان للثلج المتكون، فإنه يلزم دمك الخرسانة جيداً ثم بعد ذلك يحدث شك وتصلب لها بدون فقد فى المقاومة. ولا ينفذ ذلك إلا فى الخرسانة الغير إنشائية.

2ـ تأثير الصقيع على الخرسانة المتصلدة:

إذا انخفضت درجة حرارة الخرسانة المتصلدة، فإن الماء الموجود فى الفراغات الشعرية داخل الخرسانة سوف يتجمد، ويحدث زيادة فى الحجم ينتج عنه إجهادات داخلية. إذا تم ذوبان للجليد بعد ذلك مع زيادة درجة الحرارة، فسوف تتلاشى تلك الإجهادات للخرسانة. وإذا تكررت العملية مرات عديدة سوف تظهر شروخ، وتبدأ الخرسانة فى فقد جزء من مقاومتها.

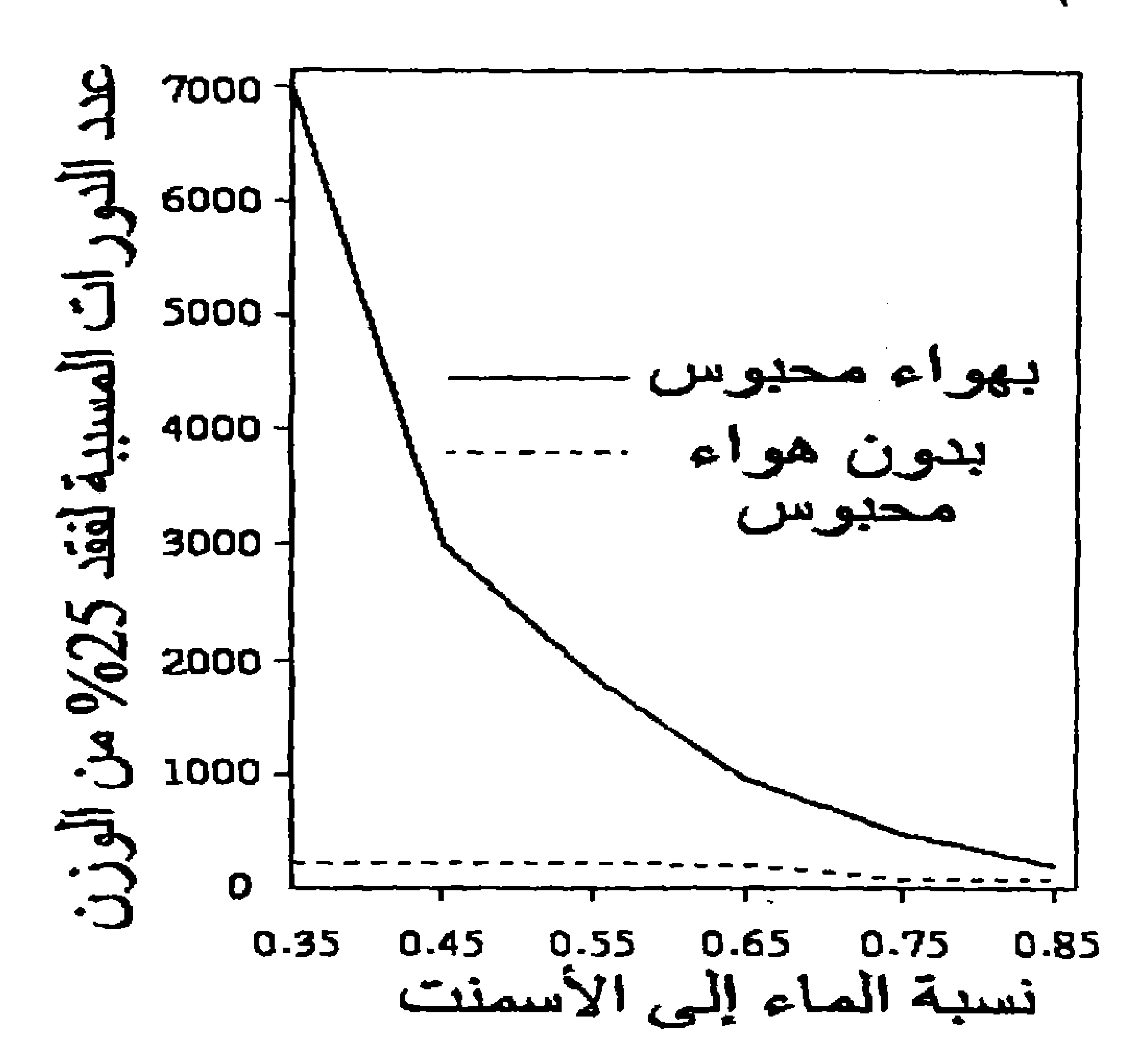
ومما هو جدير بالذكر أن الفراغات الكبيرة الموجودة فى داخل الخرسانة الناتجة من دمك غير كامل، تكون مملوئة بالماء ولا تتأثر كثيراً بالصقيع.

3ـ العوامل التى تعتمد عليها مقاومة الخرسانة للصقيع:

يلزم أن تكون نسبة W/C منخفضة جداً، بحيث تحتوى العجينة على فراغات غير شعرية، وبالتالى تقل كمية الماء التى يمكن أن تتجمد. ويجب أن تتحقق درجة إماهة كافية للأسمنت، عن طريق الاهتمام بالمعالجة قبل تعرض الخرسانة للصقيع. ويلزم الدمك الجيد للخرسانة لمقاومة الصقيع. ولايؤثر التركيب الكيميائى للأسمنت ولا نعومته على مقاومة الخرسانة للصقيع، إلا فى الأيام الأولى، حيث يؤثر هذين العاملين على درجة الإماهة.

4ـ الخرسانة ذات الهواء المحبوس:

يساعد الهواء المحبوس على زيادة مقاومة الخرسانة للتحلل بواسطة الصقيع. ويتضح ذلك من شكل (6ـ6).



شكل (6-6) تأثير وجود الهواء المحبوس على تحمل الخرسانة للصقيع

ويؤثر الهواء المحبوس على خواص الخرسانة الأخرى، حيث أنه لكل زيادة 1 % فى الهواء المحبوس ينقص معاير الكسر بمقدار 2ـ 3%، وتقل مقاومة الضغط بمقدار 3ـ 5%، ومعاير المرونة يقل بمقدار 3%.

ويزيد الهواء المحبوس من تشغيلية الخرسانة الطازجة. ويظهر ذلك عند إضافة 5% هواء محبوس، حيث يزيد معامل الدمك بمقدار 0.03ــ 0.07 ويزيد الهبوط بمقدار 1ــ 5%. كما أن الهواء المحبوس يقلل إحتمال النزيف .

6ــ7 صدأ صلب التسليح:

6ــ7ــ1 عام:

إن ظاهرة صدأ صلب التسليح هى الأكثر انتشاراً فى الإسكندرية وفى المدن الساحلية، وكذلك بدرجة أقل فى المدن الأخرى. ويرجع معظم أسباب التصدع فى المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الافتراضى لصدأ الصلب. وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد ذات التحمليه العاليه وتعيش منشآتها طويلاً، ويفضلها المصممون على كثير من أنواع المواد الأخرى. وقد يكون الصدأ بسيطاً ويظهر فى صورة شروخ دقيقة عند أسياخ التسليح. وقد يزيد تأثير الصدأ، فيؤدى إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرسانى (Spalling of Concrete Cover). وقد يصل الصدأ لدرجة كبيرة فتنخفض مساحة أسياخ التسليح وتزيد الإجهادات زيادة كبيرة، مما يؤدى إلى حدوث انهيار للعضو الخرسانى.

وخطورة صدأ الصلب أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهوره على السطح. وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الصلب بطىء، وقد يستمر سنين فى بعض الحالات. وخطورته أيضاً أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة، ما لم يزال الحديد الصدِء والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة. وأى إجراء يُتَّبع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ، ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار. والحقيقة أن الرطوبة والأكسجين و ملح الكلوريدات هم أساس عملية الصدأ؛ التى تبدأ حينما تُفقد الحماية التى توفرها الخرسانة لأسياخ التسليح نتيجة أسباب عدة مثل؛ زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو حدوث ظاهرة الكربنة لخرسانة الغطاء أو حدوث شروخ نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ، مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ.

6ــ7ــ2 ميكانيكية حدوث الصدأ:

أ ــ الصدأ نتيجة ظاهرة الكربنة:

نتيجة زيادة نفاذية الخرسانة، يهاجم ثانى أكسيد الكربون الخرسانة كما سبق ذكره، وتقل نسبة PH من 13 وقد تصل إلى 9. ومع خفض PH، يبدأ الصلب فى فقد طبقة الحماية (Passive layer) الموجود على الأسياخ. ونظراً لأن سيخ الصلب يتكون من عدة أكاسيد يصعب تطابق نسبها من موضع لأخر، يبدأ حدوث مناطق آنودية ومناطق كاثودية، كما بالشكل (6ــ7). ويمكن تلخيصها كما يلى:

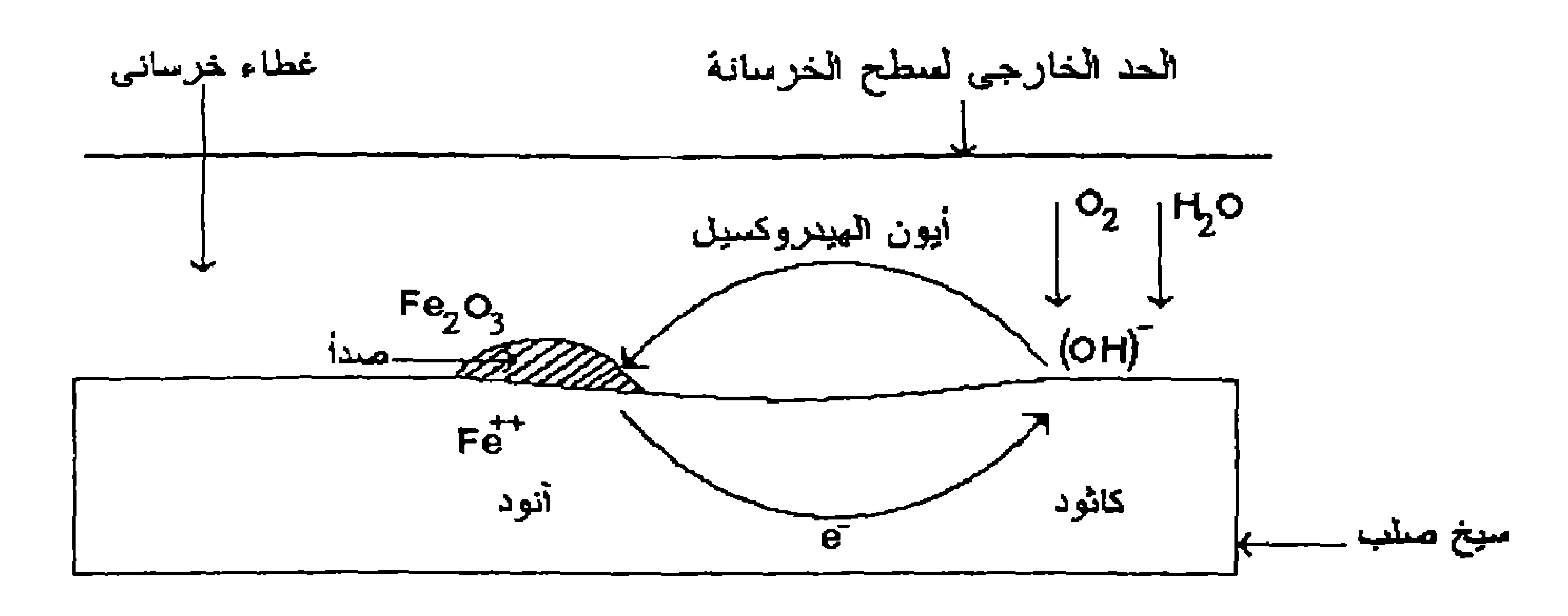
1. يتأين الصلب عند الأنود وينطلق منه إلكترونات تتجه للكاثود، ويتبقى الحديد على هيئة أيون موجب.
2. تنطلق الإلكترونات للكاثود، وتتحد مع الماء والأكسجين الموجودين فى الخرسانة مكونة أيون الهيدروكسيل (OH^-).
3. يتحد أيون الهيدروكسيل مع أيون الحديد فى سلسلة من التفاعلات، وينتج عنها الصدأ؛ وهو أكسيد الحديديك. ويمكن تلخيص تلك الظاهرة فى المعادلات الكيميائية التالية:

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^- \qquad \text{(Anodic Reaction)........(18—6)}$$

$$4e^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4(OH)^- \qquad \text{(Cathodic Reaction)......(19—6)}$$

$$Fe^{++} + 2(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_2 \quad \text{(Ferrous Hydroxide)......(20–6)}$$
$$2Fe^{+++} + 6(OH)^- \rightarrow 2Fe(OH)_3 \quad \text{(Ferric Hydroxide).......(21–6)}$$
$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O \quad \text{(Ferric Oxide)..............(22–6)}$$

وأكسيد الحديديك (صدأ الصلب) يتميز بأن حجمه كبير جداً بالنسبة لحجم الحديد الأصلى (حوالى 6 مرات أو أكثر). مما يولد ضغوط على خرسانة الغطاء الخرسانى، مما قد يولد شروخ فى الخرسانة المحيطة. بالإضافة إلى فقد جزء من صلب التسليح، وتحوله إلى مادة ضعيفة. ويوجد عامل سلبى آخر لظاهرة الصدأ، وهو فقد جزء من مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح. ويحدث ذلك فى مراحل الصدأ التى تؤدى إلى ظهور شروخ حول الأسياخ.

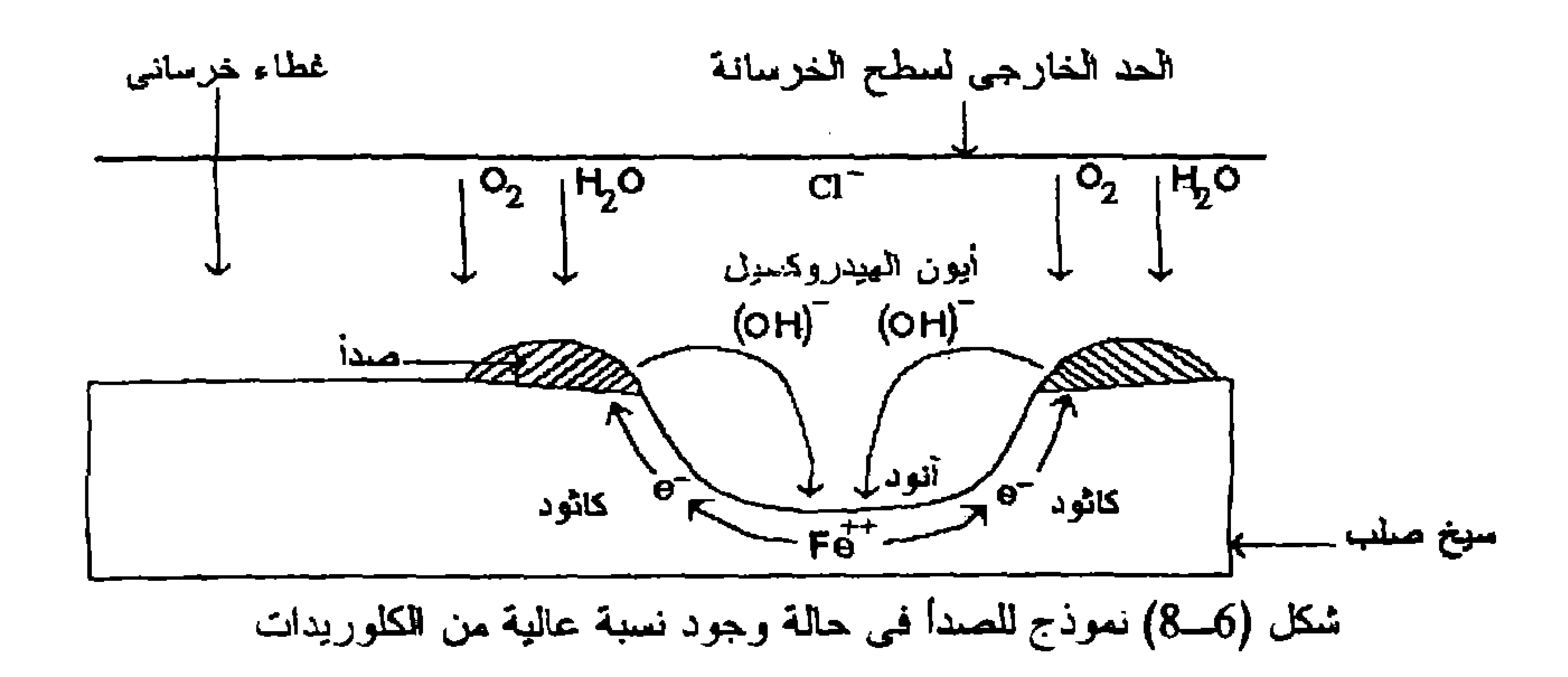


شكل (6ـ7) نموذج صدأ صلب التسليح فى حالة ظاهرة الكربنة

ب ـ الصدأ نتيجة أملاح الكلوريدات:

قد توجد أملاح الكلوريدات فى الرمل أو الركام الكبير المستخدمان فى الخرسانة. وقد تتوفر تلك الأملاح من الأوساط المحيطة بالخرسانة مثل؛ الماء الجوفى أو الملاحات أو ماء البحر أو فى التربة السبخة.

إن وجود أملاح الكلوريدات مع الماء الموجود بداخل الخرسانة يسبب وجود حمض الهيدروكلوريك، الذى يفقد الخرسانة قلويتها بمعدل سريع ويدمر طبقة الحماية ويعجل من صدأ صلب التسليح. ولذلك تتعدد المناطق الكاثودية، ويحدث تآكل سريع فى صلب التسليح فى مكان واحد (Pitting Corrosion)، كما هو مبين بشكل (6ـ8).



شكل (6ـ8) نموذج للصدأ فى حالة وجود نسبة عالية من الكلوريدات

ومن رحمة الله بنا أنه أوجد تفاعل آخر يتم بجانب التفاعل السابق، وهو التفاعل الموضح فى المعادلات التالية:

$$Fe^{++} + Cl^{-} + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + HCl \qquad \text{.................(6_23)}$$

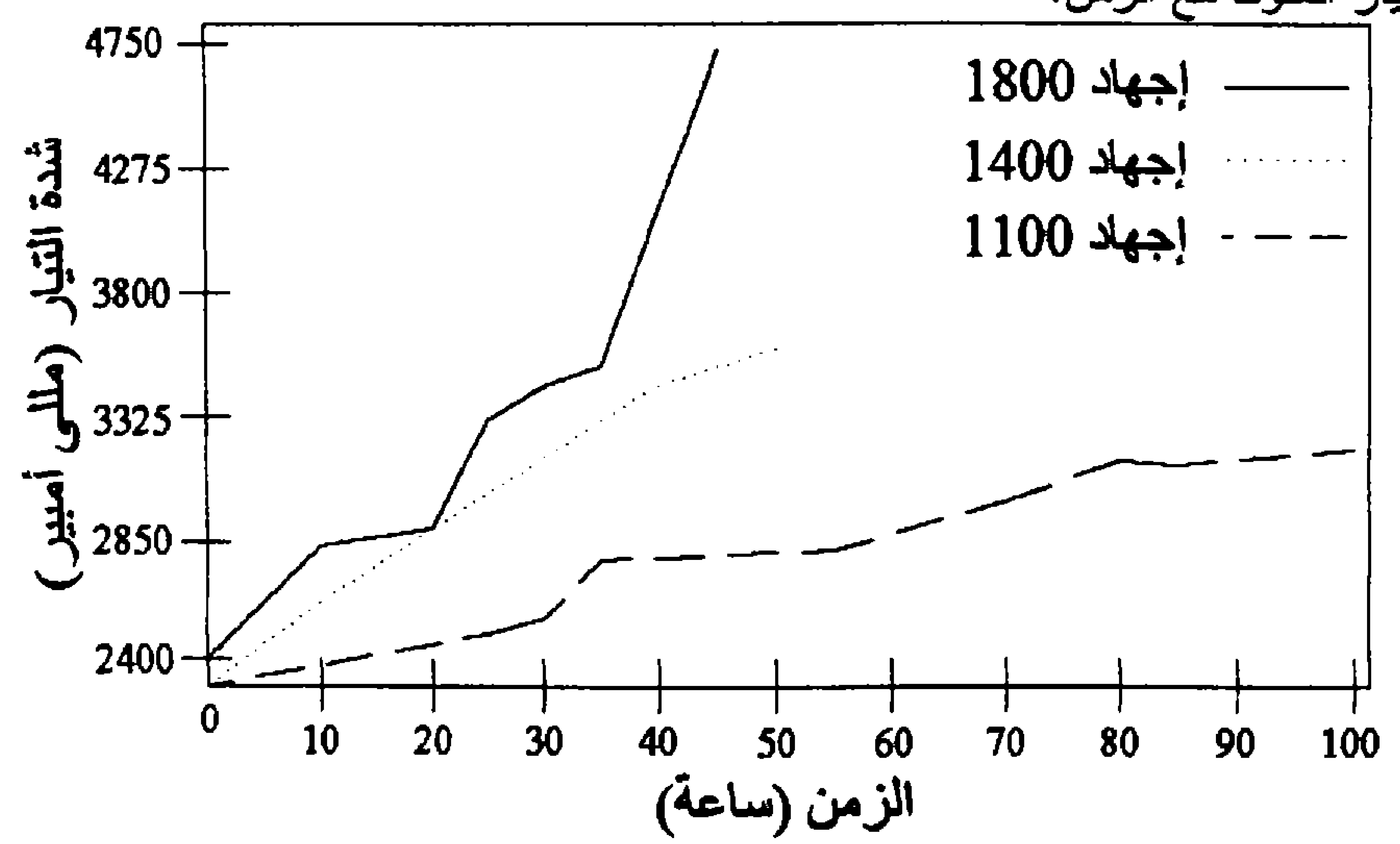
$$HCl \rightarrow Cl^{-} + H^{+} \qquad \text{.................(6_24)}$$

وهذا التفاعل ينشّط الصدأ فى البداية. لكن مع تراكم غاز الهيدروجين حول الكاثود يبدأ معدل الصدأ فى النقصان، مما يبطئ من عملية الصدأ. وإلا كانت المنشآت الخرسانية المسلحة تفقد صلب تسليحها فى فترة وجيزة جداً و يحدث بها انهيار.

جـ ــ الصدأ نتيجة وجود شروخ بالخرسانة المسلحة:

مما هو معلوم عند تصميم المنشآت الخرسانية المسلحة، فإن مناطق الشد تسمح بوجود شروخ دقيقة غير مرئية به. وهذه الشروخ تعجل من اختراق الماء والأكسجين وأملاح الكلوريدات إلى داخل الخرسانة، مما يعجّل الصدأ سواء أحَدث نتيجة الكربنة، أو نتيجة أملاح الكلوريدات. ولذلك يجب أن يتناسب سمك الشرخ المسموح به مع الظروف البيئية المحيطة بالمنشآت. والجدول التالى يوضح سمك الشرخ المسموح به فى الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية والموصى به لبعض المناطق.

وللتحكم فى سمك الشرخ يجب تخفيض الإجهاد الموجود فى صلب التسليح حتى يقل سمك الشرخ ويقل معدل الصدأ. وشكل (6ــ9) يوضح تأثير الإجهاد فى صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن.



شكل (6ــ9) تأثير الإجهاد فى صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن

وإذا صمم المهندس المنشآت المختلفة محافظاً على سمك الشرخ الموضح فى الجدول والاحتياطات الأخرى اللازمة التى ستذكر لاحقاً لتحسين تحمل الصلب للصدأ، فإن المنشآت ستتميز بتحمل جيد لهذه الظاهرة.

جدول (6ـ6) سمك الشرخ المسموح به للمنشآت الموجودة في بيئات مختلفة .

مسلسل	درجة تعرض سطح الشد للعوامل البيئية	سمك الشرخ المسموح به مم
1	العناصر التى أسطح الشد بها محمية: وهذه العناصر تشمل: أ- جميع العناصر الداخلية المحمية فى المنشآت العادية كالمبانى. ب- العناصر المغمورة بصفة دائمة أسفل المياه التى لا تحتوى على مواد ضارة أو فى حالة جفاف دائم. ج- الأسقف النهائية المعزولة جيداً ضد الرطوبة والأمطار.	0.30
2	العناصر التى أسطح الشد بها غير محمية: وهذه العناصر تشمل: أ- جميع المنشآت فى العراء مثل الكبارى والأسقف غير المعزولة عزلا جيداً. ب- منشآت القسم الأول المجاورة للشواطئ. ج- العناصر المعرضة أسطحها للرطوبة، نظراً لعدم إمكان إبعادها عن تأثيرها مثل الصالات المفتوحة أو الجراجات.	0.20
3	العناصر التى أسطح الشد بها معرضة لعوامل ضارة: وهذه العناصر تشمل: أ- العناصر المعرضة لنسبة رطوبة عالية. ب- العناصر المعرضة إلى حالات متكررة من التشبع بالرطوبة. ج- خزانات المياه. د- المنشآت المعرضة لأبخرة وغازات ومواد كيماوية ذات تأثير غير شديد.	0.15
4	العناصر التى أسطح الشد بها معرضة لعوامل ذات تأثيرات مؤكسدة وضارة تسبب صدأ الصلب: وهذه العناصر تشمل: أ- العناصر المعرضة لعوامل ذات تأثير مؤكسد ضار يسبب صدأ الصلب بما فى ذلك الأبخرة والغازات التى تحتوى على كيماويات وغيرها. ب- الخزانات الأخرى والمجارى والمنشآت المعرضة لماء البحر. ج- الأسقف النهائية المعزولة جيداً ضد الرطوبة والأمطار.	0.10

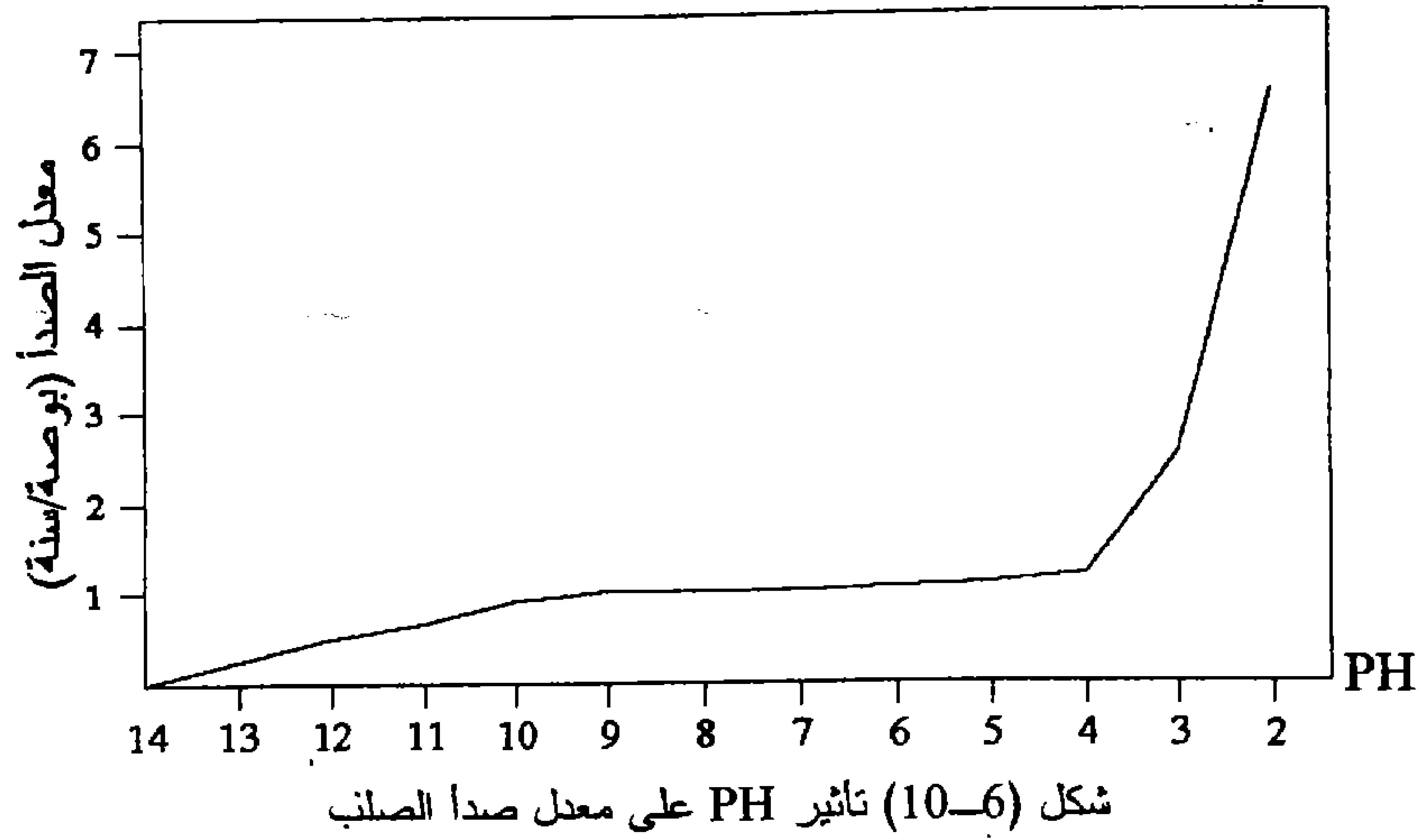
د ـ تحسين مقاومة صدأ صلب التسليح:

إن صناعة الخرسانة الجيدة -كما سبق ذكره- تحقق مقاومة جيدة للصدأ فى حالة المنشآت المقامة فى الظروف العادية. ولكن فى حالة تعرض الخرسانة لأوساط بها محتوى عالى من الكلوريدات مثل؛ الخرسانة المسلحة الموجودة فى ماء البحر أو ملاحات أو تربة سبخه، فإنه من الواجب تحسين أداء صلب التسليح فى تلك الأوساط باتباع كل أو بعض من الطرق التالية:

1. الاهتمام بصناعة الخرسانة:

يجب على المهندس المحافظة على احتفاظ الخرسانة بقلويتها، لأن الخرسانة ذات القلوية العالية لايحدث بها صدأ، ويتضح ذلك من شكل (6ـ10). وهذا الشكل يوضح بجلاء أنه كلما كانت قلوية الخرسانة أكبر من أو يساوى 13، فإن معدل الصدأ يكون قليل جداً أو منعدم. فيجب على المهندس تخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت، حتى يقلل نفاذية غاز

ثانى أكسيد الكربون أو الكلوريدات إلى داخل الخرسانة. ويجب عليه أن يستخدم خرسانة غنية وخرسانة كثيفة.



شكل (6ـ10) تأثير PH على معدل صدأ الصلب

2. استخدام نوع أسمنت مناسب للمهاجمة:

ففى حالة تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة الكلوريدات بنسبة عالية، يجب استخدام أسمنت عالى الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى. أما فى حالة تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة مزدوجة من الكلوريدات والكبريتات مثل ماء البحر أو الملاحات أو التربة السبخة، فينصح باستخدام الأسمنت عالى الخبث أو أى أسمنت آخر بشرط أن تتوافر فيه نسبة ألومينات ثلاثى الكالسيوم بنسبة تتراوح بين 5: 8%. وكلما زادت هذه النسبة يكون ذلك مفضلا، حيث أثبتت الأبحاث أنه كلما زادت نسبة C_3A تحسن مقاومة الصدأ.

3. استخدام رمل وزلط وماء وإضافات بها أقل نسبة كلوريدات ممكنة:

ويمكن غسيل الركام فى تلك الحالة، بحيث لا تزيد نسبة الكلوريدات القابلة للذوبان فى الماء بالخرسانة على 0.1% من وزن الأسمنت.

4. زيادة الغطاء الخرسانى لصلب التسليح:

فى حالة زيادة احتمالات الصدأ، يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرسانى عن 50 مم للخرسانة المغمورة والخرسانة المعرضة للهواء الجوى، ولايقل سمك الغطاء عن 70 مم للخرسانة المعرضة للبلل والجفاف.

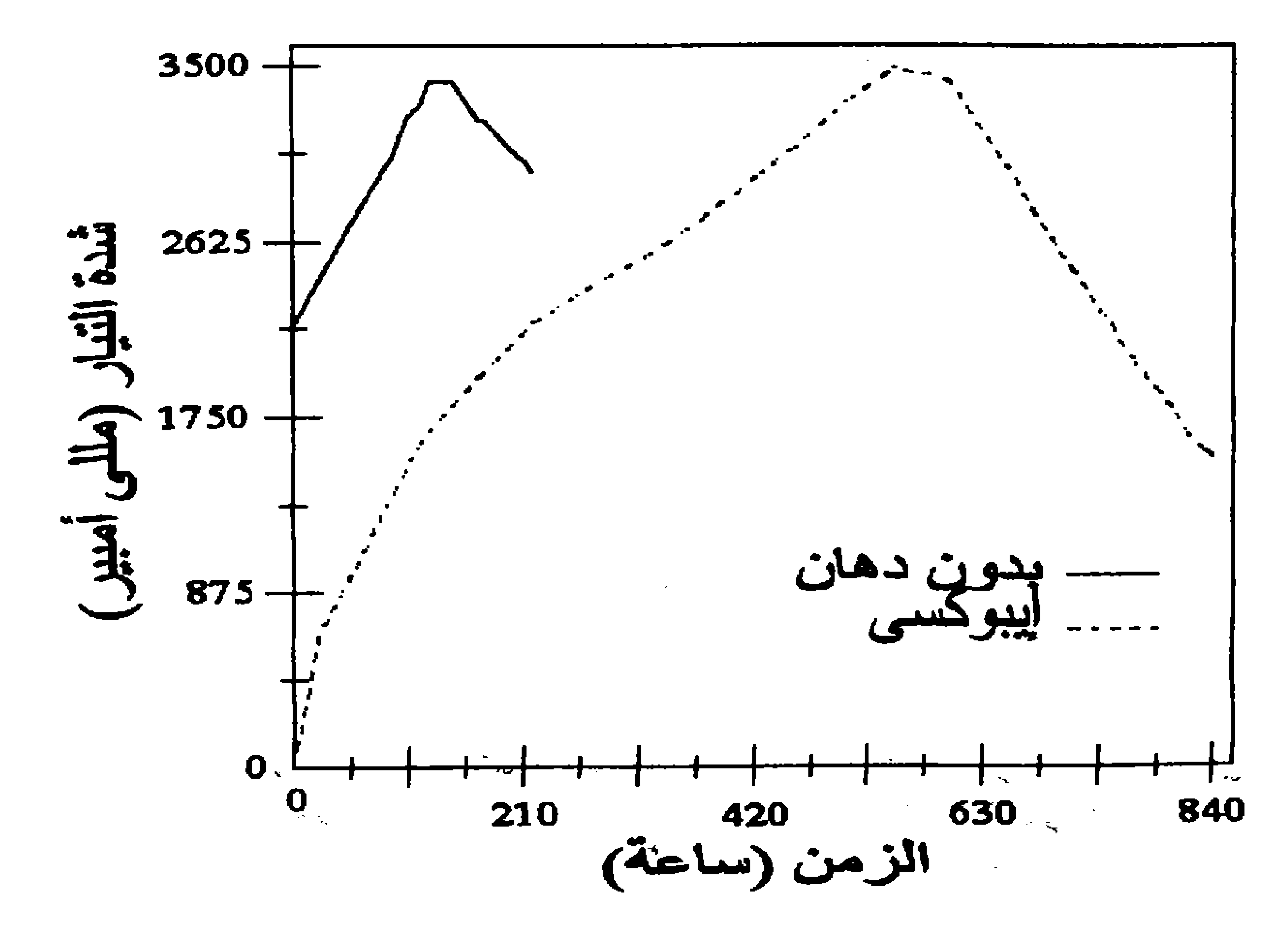
وكلما زاد الغطاء الخرسانى حول صلب التسليح، يكون وصول ثانى أكسيد الكربون أو الكلوريدات المحيطة إلى صلب التسليح أو بالقرب منه بطىء، وخاصة إذا كان هذا الغطاء مصنوع من خرسانة جيدة. وينص الكود المصرى للمنشآت الخرسانية على استخدام الجدول التالى (جدول 6ـ7) لتحديد سمك الغطاء الخرسانى للمنشآت فى الظروف المختلفة.

جدول (6ــ7) الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرسانى .

قسم تعرض سطح الشد	سمك الغطاء الخرسانى * (مم)			
	عام لجميع العناصر عدا الحوائط والبلاطات المصمته		للحوائط والبلاطات المصمته	
	F_{cu}**≤25	F_{cu}**>25	F_{cu}**≤25	F_{cu}**>25
العناصر التى أسطح الشد بها محمية	25	20	20	20
العناصر التى أسطح الشد بها غير محميه	30	25	25	20
العناصر التى أسطح الشد بها معرضة لعوامل ضارة	35	30	30	25
العناصر التى أسطح الشد بها معرضة لعوامل ذات تأثيرات مؤكسدة وضارة تسبب صدأ الصلب	45	40	40	35

5. دهان صلب التسليح:

يتم دهان صلب التسليح بدهانات تحسن الأداء لمقاومة الصدأ مثل الإيبوكسى والإيبوكسى الغنى بالزنك. وشكل (6ــ11) يوضح أن دهان صلب التسليح بالإيبوكسى يقلل كثيراً من شدة التيار فى البداية، ويزيد الزمن اللازم لحدوث شرخ معين إذا ما قورن بالأسياخ الغير مدهونة بالإيبوكسى. وأثبتت الأبحاث أن استخدام الإيبوكسى فى المناطق التى تتعرض لدورات من البلل والجفاف غير مفضل لحدوث تقشير بالدهان. ويستخدم الآن أيضاً الإيبوكسيات الغنية بالزنك.



شكل (6ــ11) تأثير دهان صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن

6ـ8 طرق معالجة السطح الخارجى للخرسانة ضد الرطوبة:

1. الدهان بالمحاليل الأسفلتية مثل البيتومين المؤكسد، والذى يستخدم والخرسانة جافة وهو يستخدم غالباً لدهان الأساسات.
2. الدهان بالمحاليل الأسمنتية الأساس التى تحتوى على الكوارتز وغبار السليكا وغيرها من الإضافات، حيث يتم دهان الأسطح الخرسانية به. وهى مفيدة فى حالة وجود رطوبة بالخرسانة أو بالأجواء المحيطة.
3. لصق ألواح من الـ PVC.
4. لصق نسيج من الأنسومات (نسيج من الكتان مشبع بالبيتومين المؤكسد).

ويجب على المهندس التعرف على الإمكانيات المتاحة فى سوق العمل واستخدام أفضلها.

6ـ9 التفاعل القلوى للركام (Alkali Aggregate Reaction):

من البديهى أنه من المفضل ألا يتفاعل ركام الخرسانة مع وسط الخرسانة أو مع المواد المهاجمة للخرسانة، حتى لا يحدث تمدد والخرسانة متصلده، مما يعرضها للخطر إذا كانت تلك التمددات عالية.

بعد إنشاء بعض المنشآت الخرسانية مثل بعض الكبارى فى بعض مناطق العالم مثل ولاية نبراسكا ومنج الغربية ونفق الشهيد أحمد حمدى بمنطقة قناة السويس، لوحظ ظهور شروخ بتلك المنشآت. وأرجع العلماء بعض من هذه الشروخ إلى ظاهرة تفاعل ركام الخرسانة مع قلويات الأسمنت. وسوف نلخص فى ما يلى أنواع التفاعل القلوى المختلفة.

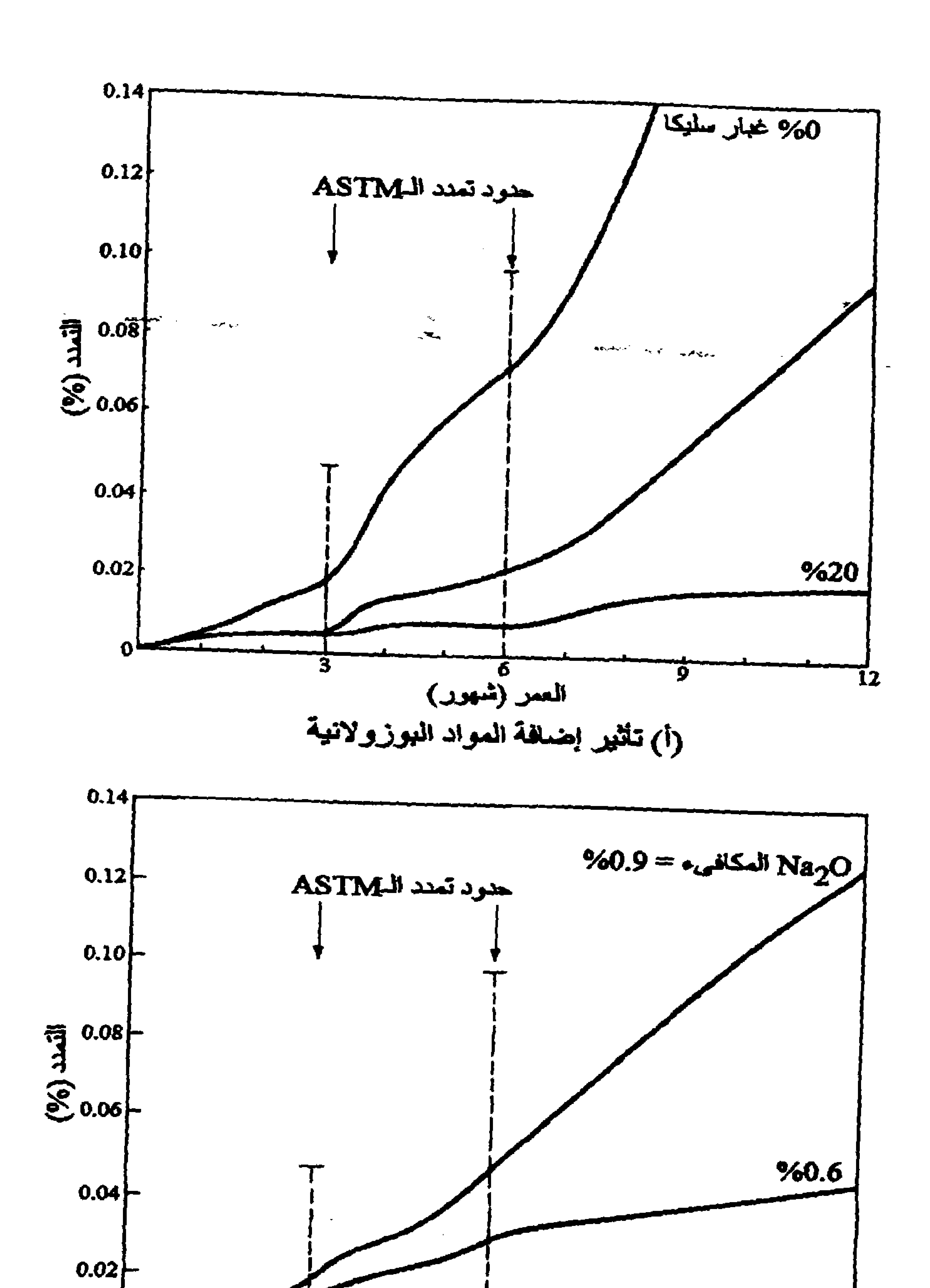
6ـ9ـ1 التفاعل القلوى السليسى (Alkali Silica Reaction):

حدث فى الولايات المتحدة فى الفترة من 1920 وحتى 1940 بعض الانهيارات فى مجموعة من المبانى الخرسانية نتيجة انتشار الشروخ وظهور تفتتات وظهور جل من الشروخ. واكتشف العلماء أن ذلك يعود لتفاعل ركام يحتوى على سيلكا نشطة (Reactive Silica) مع قلويات الأسمنت الناتجة من أكسيد الصوديوم (Na_2O) وأكسيد البوتاسيوم (K_2O). والسيلكا النشطة وجدت فى بعض أنواع الحجر الجيرى السليسى والشرت (Chert) والـ Shales والأحجار الرملية. وهذا التفاعل يحدث كما يلى:

$$A + Na(K)OH \rightarrow Na(K) - A - OH \qquad ....(25\text{—}6)$$

هيدروكسيد الصوديوم + (ركام) ← جل- قلوى- سليسى ....(6ـ25)

والجل القلوى السليسى يؤدى إلى تدمير تكامل الركام، ثم يمتص كمية كبيرة من الماء ويزيد حجمه، ويؤدى إلى حدوث التمدد الذى قد يؤدى إلى التشريخ. وهذا التأثير يزيد كلما زاد محتوى السليكا النشطة، ويزيد كلما نقص قطر هذه السليكا. وفى حالة اكتشاف هذه الظاهرة فى الركام، يمكن ملاشاتها بسهولة باستخدام مادة بوزولانية مثل الرماد الطائر (Fly Ash) أو غبار السليكا، وهى توضع ليتفاعل معها القلويات وتتجنب التفاعل مع الركام، انظر شكل (6ـ12). وتوجد بعض أنواع الركام تتفاعل مع قلويات الأسمنت ولكن يسمى التفاعل بـ Cement Aggregate Reaction وهذا الركام بـه Porous Silica أو Hydrous Silica Mineral مثل الأوبال و Volcanic Glass ويصعب التفرقة بين التفاعلين المذكورين سابقاً.



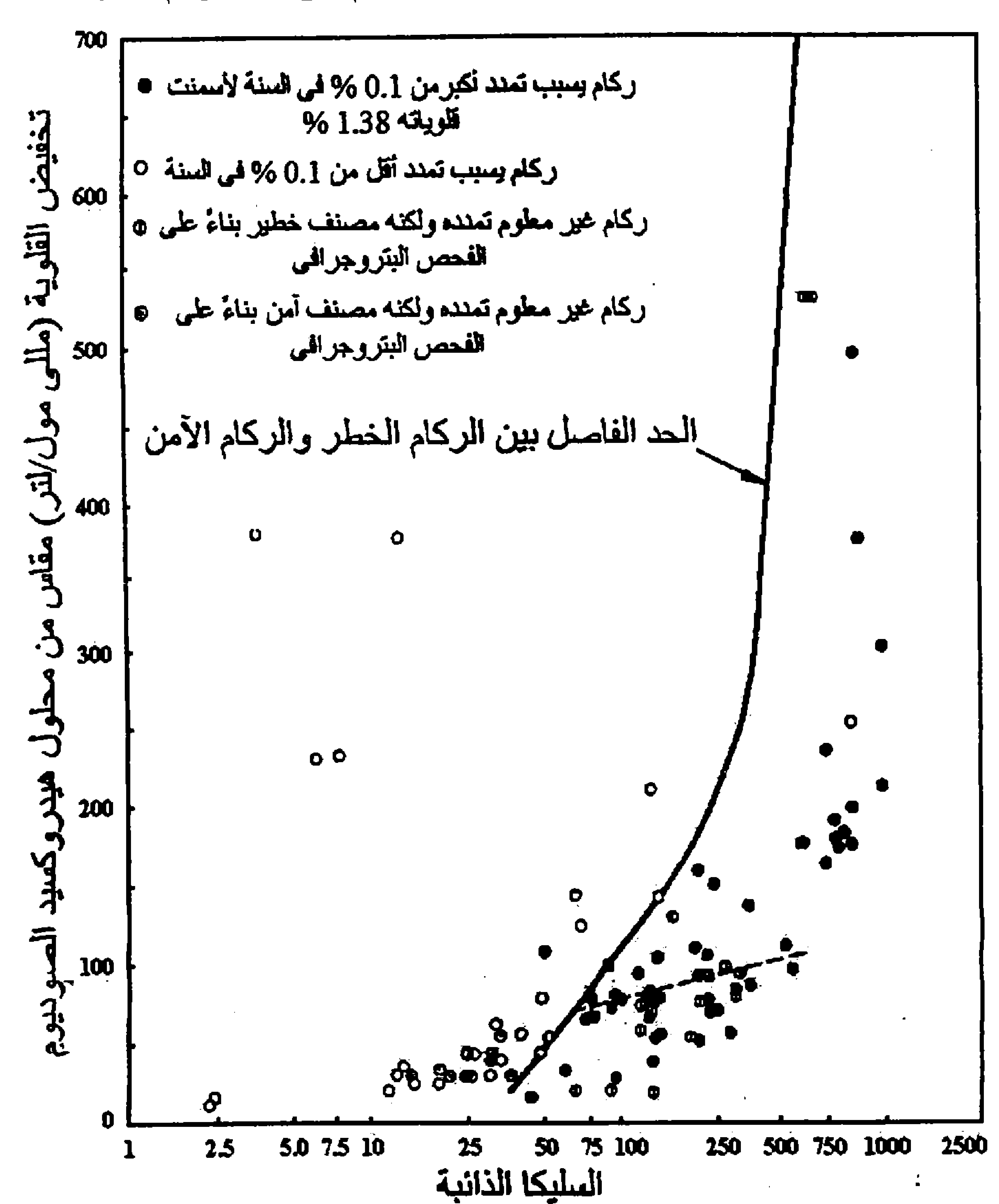
شكل (6ـ12) تأثير محتوى القلويات والمواد البوزولانية (الرماد الطائر)

6ـ9ـ1ـ1 الكشف على التفاعل القلوى السليسى:

يمكن استخدام الاختبارات التالية التى وردت فى هيئـة المواصـفات الأمريكيـة للمـواد (ASTM) والكود المصرى للخرسانة (كود رقم 203-2007):

- استخدام الطريقة الكيميائية:

وهى تجربة ابتدائية لتقييم قابلية الركام للنـشاط (ASTM C 289)، وهـى تجربـة كيميائية سريعة يتم قياس قلوية محلول NaOH موضوع فيه مسحوق الركام المختبر عند 80 درجة مئوية، ويتم تحديد كمية السليكا الذائبة، وباستخدام شكل (6ـ13) الذى يوضـح العلاقة بين السليكا الذائبة والخفض فى القلوية يمكن الحكم على نشاط الركام ابتدائياً.



شكل (6ـ13) العلاقة بين السليكا الذائبة لمسحوق ركام من MM300 إلى MM150 والفاقد فى القلوية

- التحليل البترجرافى:

حيث يتم تحليل الركام بالأشعة السينية المفرقة (X-Ray Diffraction Analysis) (ASTM C 295).

ويتم تصوير الركام بالميكروسكوب الإلكترونى (Scanning Electron Microscopy)، على أن يقوم الجيولوجى بعمل تقرير عن كمية وتركيب المواد القابلة للتفاعل القلوى.

- إجراء اختبارات الأدائية التالية:

وتلك الاختبارات مذكورة فى جدول (6ـ8).

جدول (6ـ8) الاختبارات المطلوبة للكشف عن التفاعل القلوى السليسى

رقم الاختبار	التحليل	مدى الصلاحية للاستخدام	الإجراء
1ـ اختبار تمدد منشور المونة المعجل (اختبار 2-27)	يقاس تمدد المنشور خلال 14 يوم	يستخدم الركام إذا لم يزد التمدد على 0.10%	يجرى الاختبار رقم 2 إذا كان التمدد بين 0.1 ، 0.2 % ويرفض الركام إذا زاد التمدد على 0.2%
2ـ التفاعل القلوى على منشور من الخرسانة ASTM C 1293-01	يقاس التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.04%	يستبعد الركام إذا زاد التمدد على 0.04 %

6ـ9ـ1ـ2 طرق معالجة وجود هذا الفعل:

- استخدام أسمنت بورتلاندى يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تتجاوز 0.6% بحيث تكون محسوبة على هيئة أكسيد صوديوم مكافئ Na_2O.

  أكسيد الصوديوم المكافئ = أكسيد الصوديوم+0.66 أكسيد البوتاسيوم

- إحلال جزء من الأسمنت بمادة بوزولانية على أن تكون تلك المادة فعالة فى تقليل ظاهرة التفاعل القلوى. ومن المفضل أن تكون تلك المواد مقللة لانكماش الخرسانة لتقاوم تفاعل Cement Aggregate Reaction.
- تقليل نسبة الرطوبة فى الخرسانة عن طريق عزل الخرسانة باستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

6ـ9ـ2 التفاعل القلوى الكربونى (Alkali Carbonate Reaction):

سجل فى الولايات المتحدة وكندا العديد من هذا التفاعل. وهذا التفاعل يتم بين قلويات الأسمنت وبعض أنواع الحجر الجيرى الدولوميتى (Dolomitic Lime Stone). ولخص منجوشو هذا التفاعل كما يلى:

$$CaCO_3 + MgCO_3 + 2NaOH \rightarrow CaCO_3 + Mg(OH)_2 + Na_2CO_3 \quad ....(26ـ6)$$

Then

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NaOH + CaCO_3 \quad ....(27ـ6)$$

كما هو موضح فى المعادلة الأولى، يتحول الدولوميت إلى كالسيت وبروسيت. وكما هو واضح من المعادلة الثانية أن كربونات الصوديوم تتحد مع هيدروكسيد الكالسيوم، وينتج عنه هيدروكسيد صوديوم. وهذا خطير جداً، لأن التفاعل ينتج قلويات جديدة مما يجعل مهاجمة الحجر مستمر دائماً. ولذلك عند اكتشاف وجود هذه الظاهرة وعندما تؤكد الدراسات وجود تمدد كبير فى الأختبارات، فيجب استبعاد هذا الركام أو يستخدم مع أسمنت خالى من القلويات. ولا يمكن استعمال المواد البوزولانية أو تخفيض قلويات الأسمنت فى هذه الحالة.

* الكشف على التفاعل القلوى الكربوناتى:

يستخدم التحليل البتروجرافى كما سبق ذكره، حيث يتم تحديد نسبة الكالسيت ونسبة الدولوميت فى الركام وهل توجد معادن طينة أم لا. يتم عمل تجارب الأدائية التى نص عليها كود الخرسانة رقم 203-2007، كما بجدول (6ــ9).

جدول (6ــ9) الاختبارات المطلوبة للكشف عن التفاعل القلوى الكربوناتى

رقم الاختبار	التحليل	مدى الصلاحية للاستخدام	الإجراء
1ــ التفاعل القلوى لأسطوانة من الصخر ASTM C 586-69	يتم تحديد التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.10%	يجرى الاختبار 2 إذا كان التمدد أكبر من 0.1 %
2ــ التفاعل القلوى على منشور من الخرسانة ASTM C 1105-95	يتم تحديد التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.015% عند عمر 3 شهور 0.025% عند عمر 6 شهور 0.030% عند عمر سنة	يستبعد الركام إذا زاد التمدد على 0.04 %

ويرى المؤلف أنه يجب على الدولة أو الشركات التى تقوم بعملية التحجير وتكسير الركام عمل فحص كل سنة للمحجر، حيث تحدد المساحة التى سيتم استعمالها من المحجر خلال هذه السنة. حيث يتم استخراج عينات من أماكن مختلفة من هذه المساحة، تُجرى عليها الاختبارات اللازمة فى السنة السابقة لسنة الاستخدام. ويتم تسليم تقارير بهذه الاختبارات للمقاولين وللملاك والجهات المسئولة. وقد وفقنى الله بعمل دراسة عن محاجر كسر احجار مرسى مطروح والحمام وفوكه والجلاله فى الساحل الشمالى الغربى. وأثبتت الدراسات على بعض العينات خلو هذا الركام من هذا النشاط. وخلال عمر ثلاثين عام من استخدام هذا الركام فى مشاريع كثيرة، لم يحدث مشاكل من هذا الركام مما أكد نتائج البحث. ونحن ننصح بعدم استخدام ركام غير مختبر فى المنشآت التى تتعرض للرطوبة مثل الأساسات والخوازيق.

6ــ10 الخواص الحرارية للخرسانة (Thermal Properties of Concrete):

إن الخواص الحرارية للخرسانة تصبح ذات أهمية فى عدد محدود من التطبيقات مثل الخرسانة الكتلية أو عند حساب فواصل التمدد أو البلاطات التى يتطلب فيها نوع معين من العزل الحرارى. وسنتناول فى ما يلى بعض الخواص الحرارية.

6ــ10ــ1 الموصلية الحرارية (Thermal conductivity):

وهى تقيس قابلية المادة لتوصيل الحرارة، وتقاس بالجول لكل ثانية لكل متر مربع من مساحة المقطع الخرسانى للعضو عندما يكون الفرق فى درجة الحرارة 1 درجة مئوية خلال

1 متر من سمك العضو (J/m^2 sec $^{\circ}C/m$). والموصلية تعتمد علـــى مكونـــات الخرســـانة المتصلدة من حيث نوع الركام وكمية العجينة ودرجة الرطوبة. فالموصلية الحرارية للـــزلط أكبر من الحجر الجيرى والدولوميت. والموصلية تزيد كلما زاد الماء فى الخرسانة المتصلدة. كما أن وجود الهواء المحبوس والهواء عامة يقلل كثيراً من الموصلية الحرارية، التى تتراوح للخرسانة بين 1.4 إلى 3.6 جول/م^{2}ث°م/ م. ولذلك فمن المتوقـــع أنـــه كلمـــا زادت كثافـــة الخرسانة وتحسن الدمك، فإن الموصلية الحرارية تكون عالية. وهذا مايجـــب التنبيـــه عليـــه للخرسانة عالية وفائقة المقاومة، حيث أن موصليتها الحرارية ستكون عاليـــة وبالتـــالى فـــإن تأثيرها بالحريق وإطفاؤه يكون كبير. ويمكن تقدير محتوى الماء المتوســـط فـــى الخرســـانة المتصلدة الغير معزولة بين 5.00، 8.00% بالوزن للخرسانة العادية والخفيفة على الترتيب. بينما فى حالة تلك الخرسانة المعزولة يقل محتوى الماء إلـــى 2.5، 5.0% علـــى الترتيـــب. وجدول (6ـ10) يحتوى على قيم اقترحها كل من لووندون وستاسيلى للموصليه الحراريه .

جدول رقم (6ـ10) قيم الموصلية الحرارية للخرسانة العادية الوزن والخفيفة .

وحدة وزن الخرسانة كجم/م^3	الموصلية لخرسانة حجمية من الجو جول / م^2 ث °م / م				الموصلية لخرسانة ليست حجمية جول / م^2 ث °م / م			
	خرسانة ذات هواء	خرسانة ضعيفه	خرسانة خفيفه	خرسانة عادية الوزن	خرسانة ذات هواء	خرسانة ضعيفه	خرسانة خفيفه	خرسانة عادية الوزن
320	0.109	0.087	0.13	—	0.123	0.100	0.145	—
480	0.145	0.116	0.173	—	0.161	0.13	0.187	—
640	0.203	0.159	0.230	—	0.223	0.173	0.26	—
800	0.26	0.203	0.303	—	0.273	0.23	0.332	—
960	0.315	0.26	0.376	—	0.36	0.289	0.433	—
1120	0.389	0.315	0.462	—	0.433	0.360	0.519	—
1280	0.476	0.389	0.562	—	0.533	0.433	0.635	—
1440	—	0.462	0.678	—	—	—	—	0.808
1600	—	0.549	0.794	0.706	—	—	—	0.952
1760	—	0.649	0.952	0.838	—	—	—	1.194
1920	—	—	—	1.056	—	—	—	1.488
2080	—	—	—	1.315	—	—	—	1.904
2240	—	—	—	1.696	—	—	—	2.561
2400	—	—	—	2.267	—	—	—	—

6ـ10ـ2 الانتشارية الحرارية (δ) (Thermal Diffusivity):

الانتشارية تمثل المعدل الذى عنده تنتشر التغيرات الحرارية فى داخل الكتلة الخرسانية (δ).

وδ تحسب من المعادلة $\delta = \dfrac{k}{c\gamma}$، حيث أن k الموصلية و γ الكثافـــة و C الحـــرارة النوعية.

وتتراوح القيمة المتوسطة للخرسانة بين 0.002 و 0.006 $م^2$/ساعة. ولقياسها يجب تثبيت درجة رطوبة الخرسانة. وتزيد الانتشارية لخرسانة الزلط وتصبح أقل لخرسانة الأحجار الجيرية.

6ـ10ـ3 الحرارة النوعية (Specific Heat)(C):

وهى تمثل السعة الحرارية للخرسانة، والتى تتراوح فى المتوسط بين 840 ـ 1170 جول/كجم/°م. والتى تزيد بزيادة محتوى الماء فى الخرسانة المتصلدة ولاتتأثر كثيراً بنوع الركام.

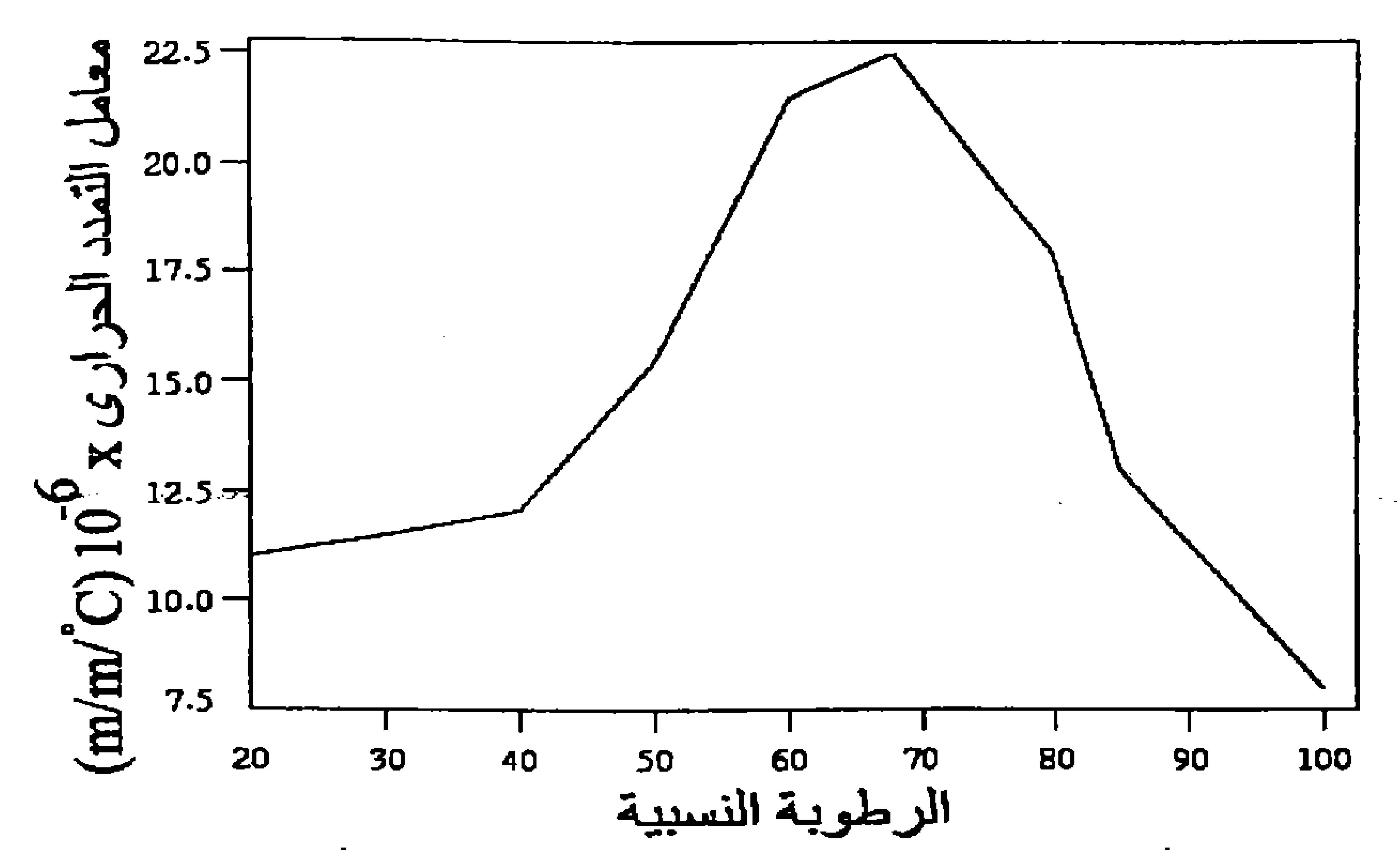
6ـ10ـ4 معامل التمدد الحرارى (Coefficient of Thermal Expansion):

إن الخرسانة مثل أى مادة إذا ارتفعت درجة حرارتها، فإنه يحدث زيادة فى طولها، ويسمى ذلك بالتمدد الحرارى. ويتوقف معامل التمدد الحرارى للخرسانة على نوع الركام وكمية العجينة والرطوبة النسبية المحيطة وطريقة معالجة الخرسانة ودرجة حرارة الجو نفسه. جدول (6ـ11) يحتوى على قيم معامل التمدد الحرارى لأنواع مختلفة من الركام والمعالجة.

جدول (6ـ11) قيم معامل التمدد الحرارى لخرسانة بنسبة أسمنت: ركام (1: 6)
والقيم تُضرب فى 10- 6سم/سم/°م

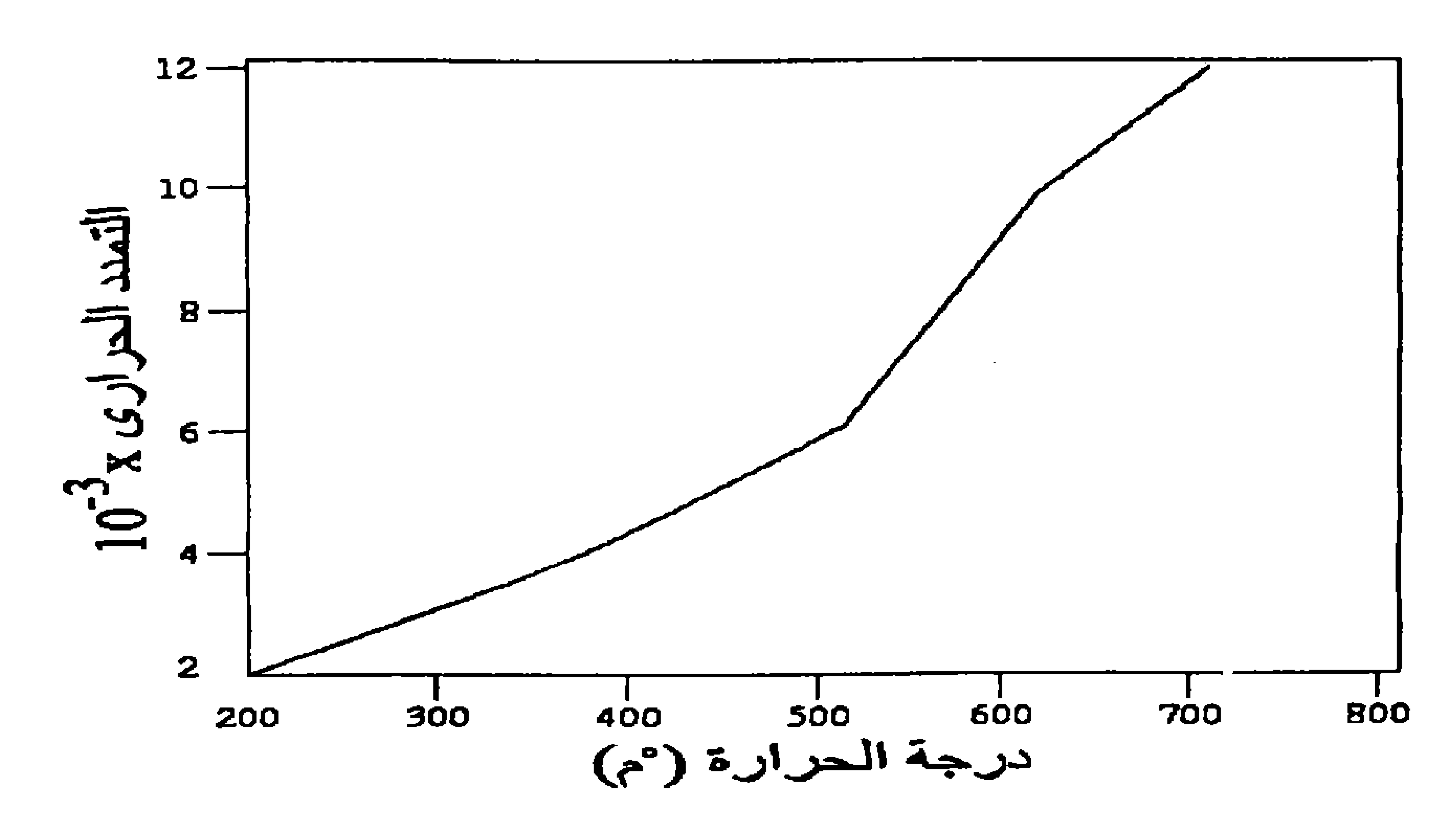
نوع الركام الكبير	خرسانة معالجة فى الهواء	خرسانة معالجة فى الماء	خرسانة معالجة فى الهواء ولكنها مبللة
زلط	13.1	12.2	11.7
حجر رملى	11.7	10.1	8.6
حجر جيرى	7.4	6.1	6.5
خبث حديد	10.6	9.2	8.8
جرانيت	9.8	8.6	7.7

والجدول السابق يوضح أن خرسانة الحجر الجيرى تحقق أقل معامل تمدد حرارى. كما أن معالجة الخرسانة فى الماء تقلل معامل التمدد الحرارى بالمقارنة بالمعالجة فى الهواء. ويلاحظ أن خرسانة الزلط لها أعلى معامل تمدد. كما أنه يجب التنويه إلى أن عجينة الأسمنت المتصلدة مع الماء تحقق معامل تمدد حوالى 1.90 مرة معامل تمدد الخرسانة. شكل رقم (6ـ14) يوضح تأثير الرطوبة النسبية على معامل التمدد الحرارى لعجينة أسمنتية عمرها ستة أشهر.



شكل (6ـ14) تأثير الرطوبة النسبية على معامل التمدد الحرارى لعينة أسمنتية عمرها 6 شهور

وهذا الشكل يوضح أن معامل التمدد الحرارى يكون بأقصى قيمة فى حدود رطوبة نسبية بين 50، 83%. ومن المهم التأكيد على أن معامل التمدد الحرارى يزيد زيادة كبيرة فى حالة تعرض الخرسانة للحريق، ويتضح ذلك من شكل (6ـ15). وهذا يوضح خطـورة الحريـق الذى يؤدى إلى حدوث تمدد كبير.



شكل (6ـ15) تأثير درجة الحرارة المرتفعة على معامل التمدد الحرارى للخرسانة

6ـ11 مقاومة الخرسانة للحريق:

تتعرض المنشآت الخرسانية في بعض الأحيان للحريق. وترتفع درجة الحرارة المصاحبة للحريق وتصل لدرجات حرارة عالية إذا استمر الحريق لفترة طويلة. وارتفاع درجة الحرارة له تأثير سلبى على كل من الركام والمونة الأسمنتية وصلب التسليح.

ويعتبر تأثير الحريق على صلب التسليح مدمر، حيث أنه يؤدى إلى نقص إجهاد الخضوع ومقاومة الشد (كمثال، عند درجة حرارة 430، 600 درجة مئوية يحدث نقص قدره 50% من إجهاد الخضوع لصلب تسليح الخرسانة سابقة الإجهاد وصلب التسليح العادى على الترتيب). بالإضافة إلى زيادة كبيرة فى التشكل. ولذلك فإن وجود الخرسانة حول صلب التسليح هو الحماية الرئيسية لصلب التسليح. وكذلك فمن المهم رفع كفاءة الخرسانة فى الحريق وزيادة سمك الغطاء الخرسانى ليحمى صلب التسليح.

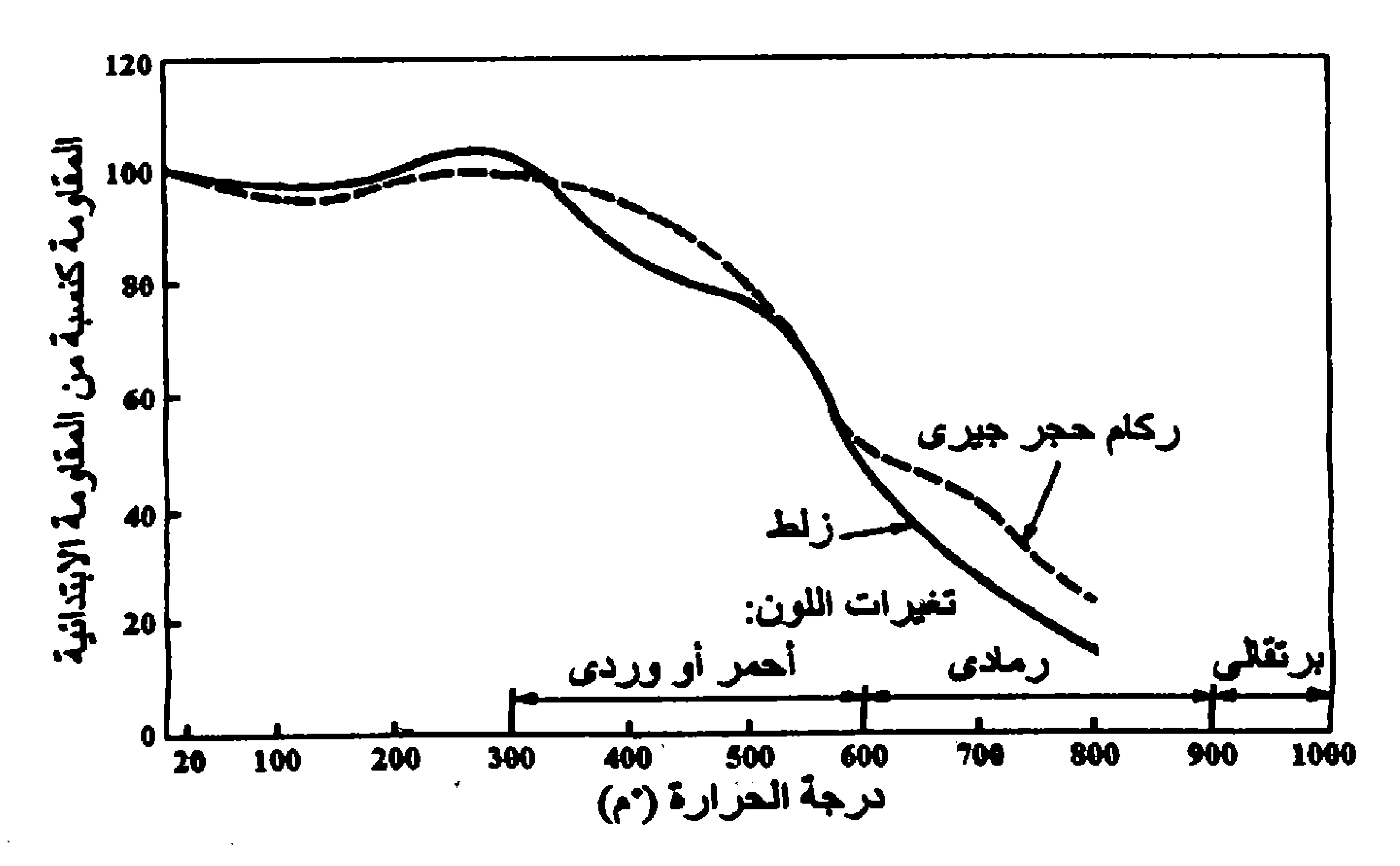
ويجب على المهندس تقدير الحمل الحرارى الواقع على العنصر الخرسانى.

6ـ11ـ1 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للحريق:

وتعرف مقاومة الخرسانة للحريق بالفترة الزمنية التى خلالها تكون الخرسانة معرضة لمهاجمة الحريق، وتكون الخرسانة سلوكها جيد وتؤدى وظيفتها دون أن يفقد العنصر الخرسانى وظيفته أو ينهار. ويمكن الحكم على هذه المقاومة من خلال عدة مقاييس ومنها القدرة على تحمل الأحمال الخارجية ومقاومة اختراق اللهب للخرسانة ومقاومة انتقال الحرارة.

1ـ تأثير درجة الحرارة على مقاومة الضغط:

شكل (6ـ16) يوضح تأثير درجة الحرارة على مقاومة الضغط لكل من خرسانة الزلط وخرسانة الحجر الجيرى.



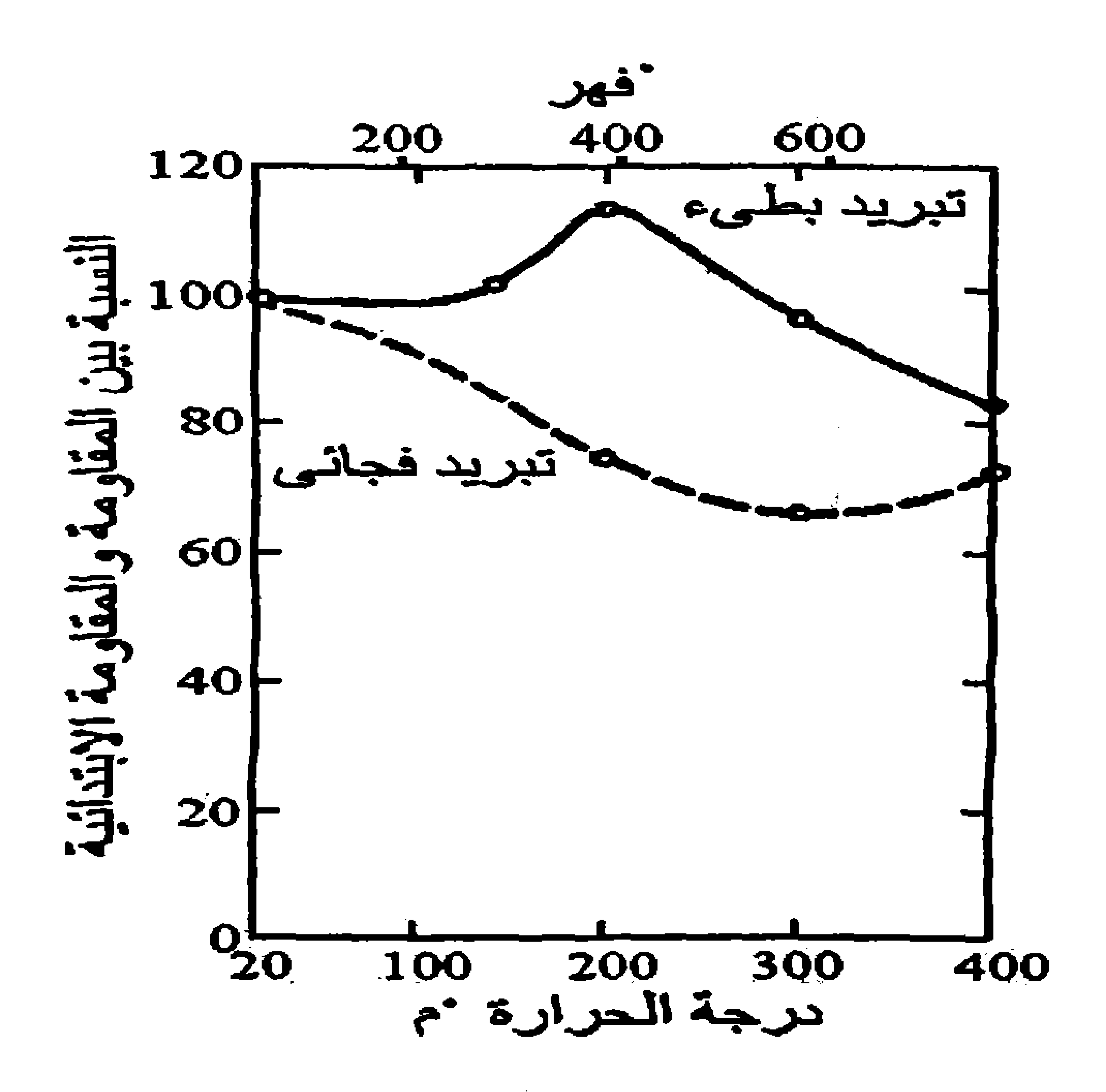
شكل (6ـ16) تأثير الحريق على مقاومة الخرسانة

وقد قام زولدنير بدراسة تغير اللون مع زيادة درجة الحرارة ويتضح من المنحنى أنه:

- رفع درجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة وحتى 150 درجة مئوية تقريباً يؤدى إلى نقص فى مقاومة الضغط، وذلك نتيجة تأثير زيادة درجة الحرارة على جل الأسمنت.

- من درجة حرارة 150 وحتى 280 درجة مئوية تقريبا تحدث زيادة طفيفة في مقاومة الضغط.
- من درجة حرارة حوالى 280 درجة مئوية وحتى 580 درجة مئوية تقريباً يحدث فقد لمقاومة الضغط نتيجة الحرق.
- من 580 درجة مئوية وحتى 800 درجة مئوية يحدث فقد في المقاومة بمعدل أكبر.
- عند 800 درجة مئوية تفقد خرسانة الزلط 85% من مقاومتها وتفقد خرسانة كسر الأحجار الجيرية 77 % من مقاومتها.
- ويلاحظ عامة أن معدل فقد المقاومة لخرسانة الزلط تكون أكبر من الفقد في المقاومة فى خرسانة الحجر الجيرى وهذا ما أكدته الأبحاث الأخرى التي قام أبرامز بإجرائها.

وشكل (6ـ17) يوضح تأثير درجة الحرارة على مقاومة ضغط الخرسانة منسوبة إلى مقاومة الخرسانة للضغط عند 20 درجة مئوية لدرجات تبريد مختلفة.



شكل (6ـ17) تأثير معدل التبريد على مقاومة الخرسانة

وهذا الشكل يوضح أهمية الإسراع فى إطفاء المنشأ، وبحيث لا يكون اللاطفاء فجائي مثل استخدام الماء أو الماء البارد، وأثبتت الأبحاث أن استخدام ثانى أكسي الكربون يقلل الخفض فى مقاومة المنشأ. وأثناء عملية الإطفاء يجب تواجد خبير يلاحظ ظهور الشروخ أو حدوث ترخيم زائد أو تغير لون الخرسانة بحيث لا يحدث انهيار. وسوف نذكر تغير لون الخرسانة مع زيادة درجة الحرارة.

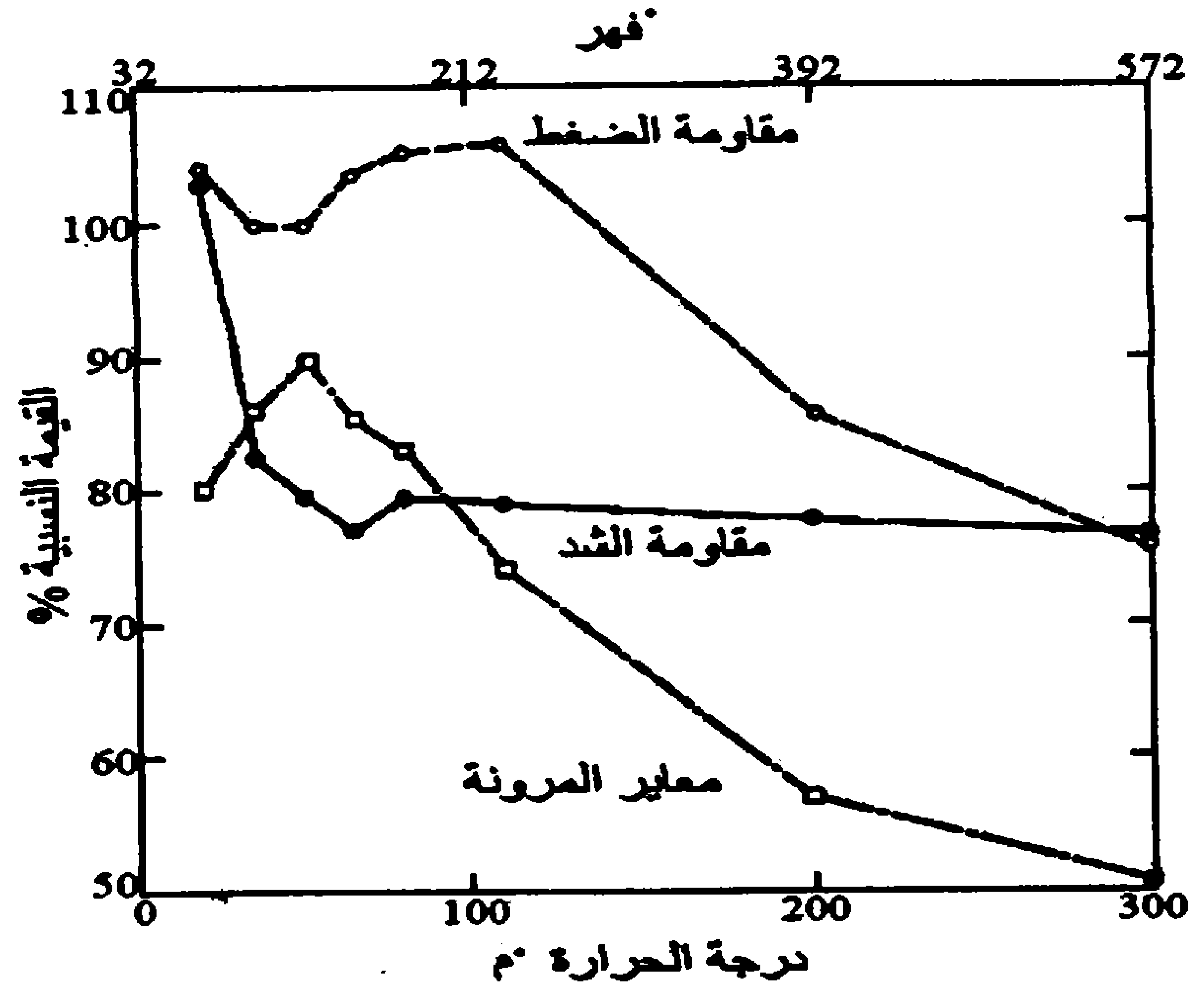
2ــ تأثير درجة الحرارة على لون الخرسانة:

ويلاحظ أن لون الخرسانة من 300 درجة مئوية وحتى 600 درجة مئوية يكون لــون وردى أو أحمر، ثم يتحول للون الرمادى من 600 وحتى 900 درجة مئوية، ثم يتحــول اللون إلى لون لامع حتى 1200 درجة مئوية، ثم يتحول اللون إلى اللون الأصفر إذا زادت درجة الحرارة عن 1200 درجة مئوية.

3ــ تأثير درجة الحرارة على مقاومة الشد ومعاير المرونة للخرسانة:

ولقد أثبتت الأبحاث التى قام بها قسامى (Kasami) وأوكينوا أن التخفيض فى مقاومة الشد للخرسانة يكون أكبر من التخفيض فى مقاومة الضغط عنــد نفــس درجــة حــرارة الحريق.

أثبتت الأبحاث مثل الأبحاث التى قام بها قسامى أن التخفيض الذى يحدث فــى معــاير المرونة نتيجة الحروق يكون أكبر من التخفيض الحادث فى مقاومــة الــضغط. وشــكل (6ــ18) يوضح تأثير درجة الحــرارة على معاير المــرونة النســبى ومقاومــة الــشد. وأثبت مارشال أنه عند 400 درجة مئوية حدث نقص فى معاير المرونة قدره 6% مــن قيمته فى درجة الحرارة العادية تقريباً. وبالرجوع للفقد المُناظر فى مقاومة الضغط نجد أنه يتراوح بين 7، 17%. ومن هذا يتضح أنه من المتوقع نتيجة الحريق أن تزيد تــشكلات الكمرات والبلاطات.



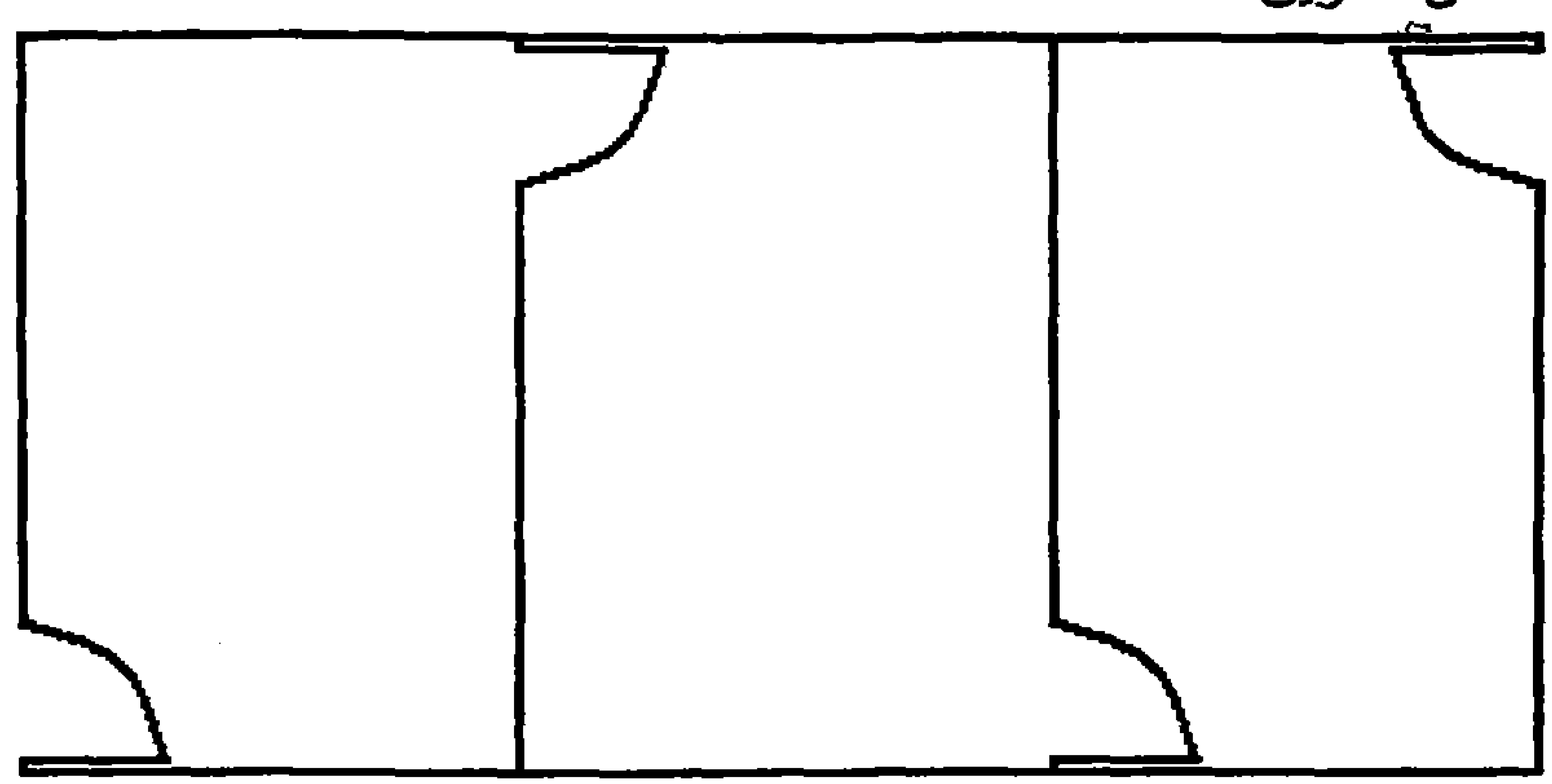
شكل (6ــ18) تأثير الحرارة على مقاومة الضغط و مقاومة الشد و معاير مرونة الخرسانة

6ــ11ــ2 تحسين مقاومة المنشأ للحريق:

يمكن للمهندس تحسين مقاومة المنشأ للحريق عن طريق اســتخدام أحــد أو بعــض مــن التوصيات التالية مع استخدام غطاء خرسانى مناسب:

1.تقليل الحمل الحرارى المتوقع للمبنى، عن طريق الإقلال على قدر الإمكان من المواد القابلة للحريق أو التى تنتج كمية كبيرة من الحرارة.

2.عمل تصميم معمارى يحصر الحريق فى مناطق محددة، بحيث لايحدث انتشار للحريق فى باقى أماكن المنشأ. وشكل (6ـ19) يوضح مثال لتقسيم معمارى يحد من الحريق.



شكل (6ـ19) حصر الحريق بالتقسيمات المعمارية

3.استخدام أحجار جيرية أو دولوميت بدلاً من الزلط.

4.فى حالة المنشآت الهامة مثل الفنادق الخمسة نجوم أو المسارح أو المنشآت العسكرية، يفضل عمل مواد عازلة حول الأعضاء الخرسانية وخاصة الأعمدة. وتستخدم مواد عازلة للحرارة ثبت كفاءتها بشهادات معملية معتمدة.

5.استخدام غطاء خرسانى.

يقوم المهندس بحساب الزمن المتوقع لوصول رجال الإطفاء، ويأخذ معامل آمان كاف. وبناء عليه يحدد مدة الحريق المطلوبة للمنشأ. وبناء على نوع العضو الخرسانى (عمود ، كمرة ، بلاطة) يتم اختيار سمك الغطاء الخرسانى بالمليمتر، ويعطى الكود المصرى للخرسانة سمك الغطاء المناظر لمدة حمايه من الحريق سواء للخرسانه المسلحه أو سابقة الإجهاد . ويجب مراعاة ما يلى:

أ- يراعى ألا يقل سمك الغطاء الخرسانى الأدنى لمقاومة الحريق عما هو وارد فى الكود المصري للخرسانة رقم 203-2007، ولا عن قطر سيخ تسليح مستخدم.

ب- إذا زاد سمك الغطاء الخرسانى خارج الكانات عن 40مم، فقد ينفصل الغطاء الخرسانى، وعندئذ يلزم أخذ احتياطات لمنع حدوث الانفصال، مثل الحماية بطبقة من البياض مع تقليل سمك الغطاء أو استخدام شبكة من التسليح الإضافى على بعد 20مم من وجه الخرسانة.

ج- عند حماية الخرسانة بطبقة من البياض يؤخذ سمك طبقة البياض كغطاء خرسانى إضافى مكافئ، وذلك على النحو التالى:

1. فى حالة البياض من المونة الأسمنتية أو الجبس، يؤخذ سمك طبقة البياض المكافئ مساويا 0.6 سمك طبقة البياض الفعلى.
2. فى حالة البياض بعازل خفيف الوزن كالفرميكوليت، يؤخذ كامل سمك طبقة البياض على ألا يزيد السمك المعتبر من طبقة البياض على 25مم.

الباب السابع
مقاومة الخرسانة (Concrete Strength)

7ـ1 مقدمة:

يتعرض المنشأ الخرسانى لأنواع عديدة من الإجهادات. وقد تكون هذه الإجهادات إجهادات ضغط؛ كما فى حالة الأعمدة، أو تكون إجهادات شد؛ كما فى حالة الخزانات الدائرية، وقد تكون هذه الإجهادات مصاحبة بإجهادات انحناء. ويجب ألا تزيد قيم الإجهادات المتولدة فى قطاعات المنشأ عن القيم التى تقاومها الخرسانة بأمان. وتُعد الخرسانة مثالاً للمواد القصفة؛ التى تقاوم إجهادات الضغط بكفاءة ولكنها ضعيفة فى مقاومة إجهادات الشد لدرجه يمكن إهمالها. وتُفترض معظم طرق تصميم القطاعات الخرسانية المسلحة أن مقاومة الخرسانة فى الشد مهملة. لذلك فى الأماكن التى تتواجد فيها إجهادات شد يستعان فيها بمادة أخرى تتحمل الشد مثل الصلب أو البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP). وهذا ما يحدث فى تصميم القطاعات الخرسانية المسلحة. ويلاحَظ أن الخرسانة تتعرض لإجهادات قص تجعل من الأهمية دراسة مقاومة الخرسانة لإجهادات القص.

ومما سبق يتضح أن مقاومة الخرسانة للضغط تلعب دوراً هاماً فى أغلب المنشآت، حيث يعتمد عليها فى مقاومة إجهادات الضغط.

ولذلك توصى معظم الكودات بأخذ مقاومة الضغط كمقياس لجودة الخرسانة وقبول أو رفض خرسانة المنشأ. ونظراً لارتباط المقاومات المختلفة للخرسانة بمقاومة الضغط؛ حيث كلما تحسنت مقاومة الضغط تحسنت المقاومات الأخرى، لذلك تم استنتاج علاقات مختلفة تربط مقاومة الضغط بالمقاومات الأخرى؛ مثل مقاومة شد الخرسانة ومقاومة القص. وبذلك يمكن استنتاج مقاومات الخرسانة المختلفة بالاستعانة بمقاومة الخرسانة.

7ـ2 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للضغط:

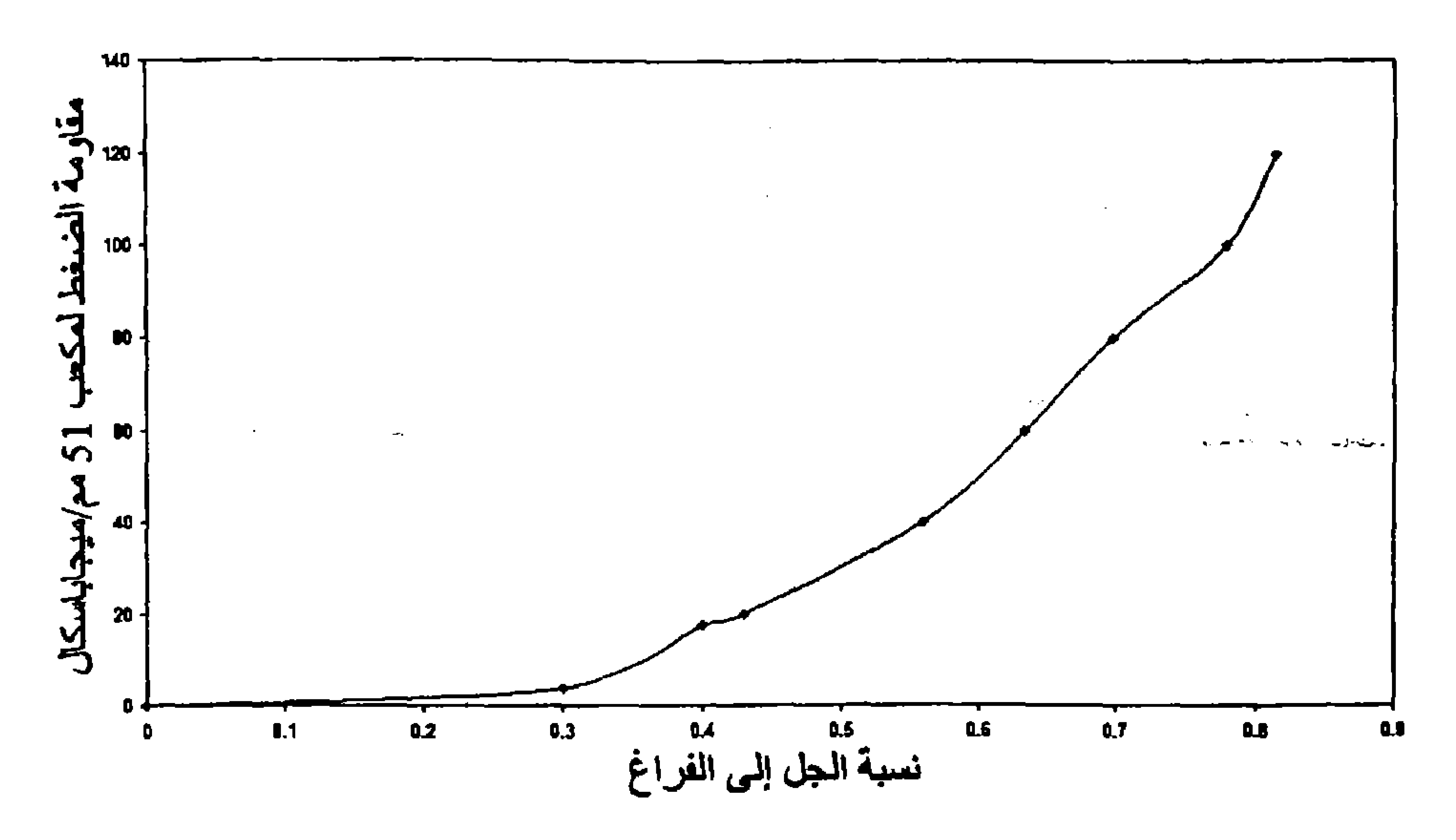
1ـ تأثير نسبة الجل إلى الفراغات وتأثير نسبة الماء إلى الأسمنت:

تعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة المادة الرابطة (جل الأسمنت المتصلد). وكلما نقصت W/C يزيد تركيز الجل وبالتالى المقاومة. وهناك علاقات كثيرة تربط نسبة الجل إلى الفراغات ونسبة الماء إلى الأسمنت. ومن هذه العلاقات:

$$X = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + W/C}$$

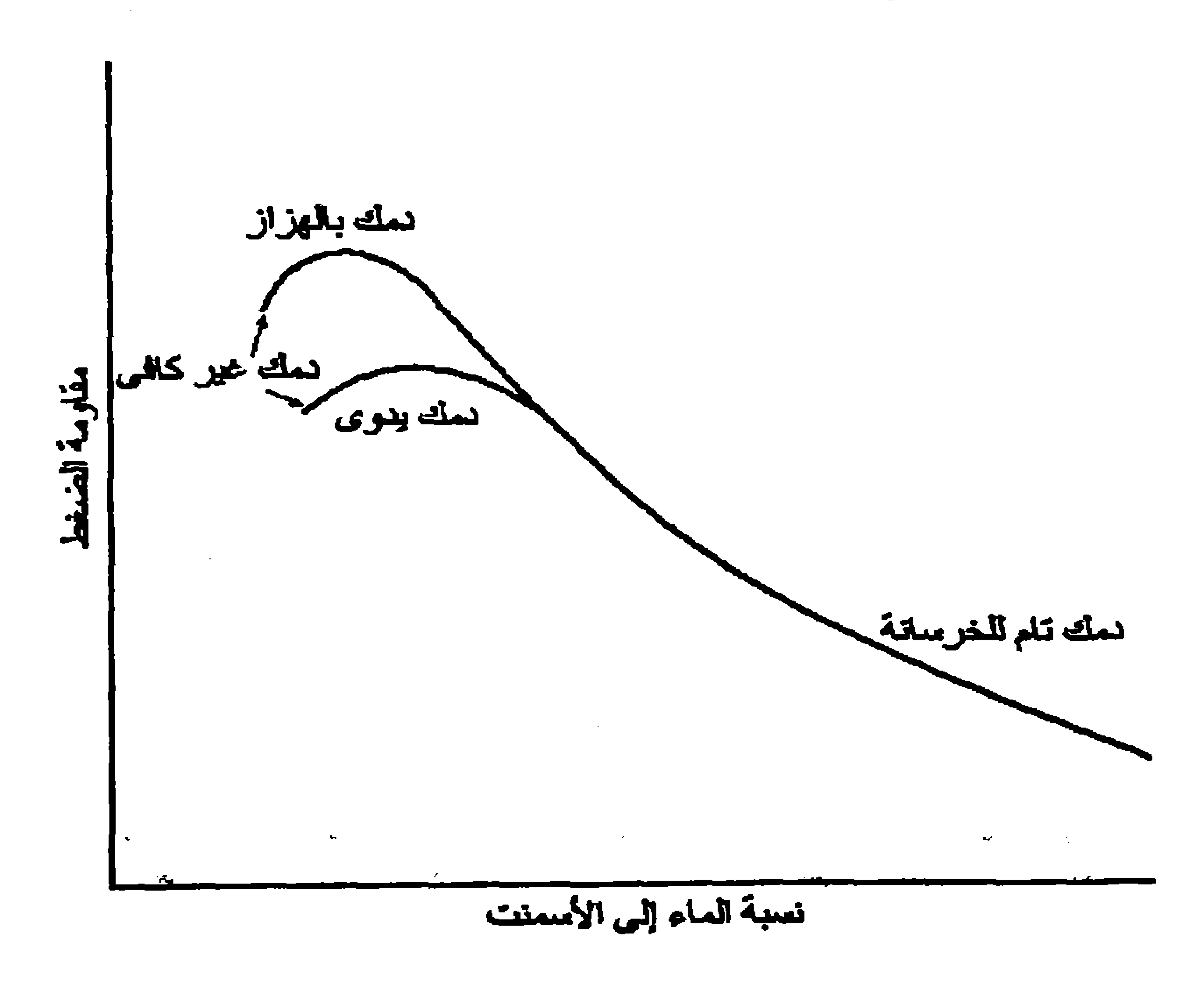
حيث X هى نسبة الجل إلى الفراغات و α نسبة الأسمنت الذى تم إماهته و كلما زادت نسبة الجل تزيد مقاومة الضغط.

والشكل (7ـ1) يوضح تأثير نسبة الجل إلى الفراغات على مقاومة الضغط.



شكل (7ــ1) تأثير نسبة الجل إلى الفراغات على مقاومة الضغط

والشكل (7ــ2) يوضح تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على مقاومة الضغط.



شكل (7ــ2) شكل تخطيطى يوضح تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على مقاومة الضغط

ومن شكل (7ــ2) يتضح أنه كلما زادت نسبة الماء إلى الأسمنت تقل المقاومة نتيجة زيادة نسبة الفراغات ونقصان تركيز الجل. ويلاحظ من الشكل كذلك أنه عند نقصان W/C عن قيمة معينة تبدأ مقاومة الضغط في النقصان نتيجة التشغيلية السيئة والدمك الغير كافي مما يزيد حجم الفراغات. ومن المهم التأكيد على أن الماء المستخدم لتحديد نسبة الماء إلى الأسمنت هو الماء الصافي، ولا يشمل الماء الذي يمتصه الركام.

وقد قام أبرامز بعمل دراسات عديدة سنة 1919، وتوصل على إثرها لمعادلة لحساب مقاومة الضغط (f_{cu}) كدالة من W/C كما يلي:

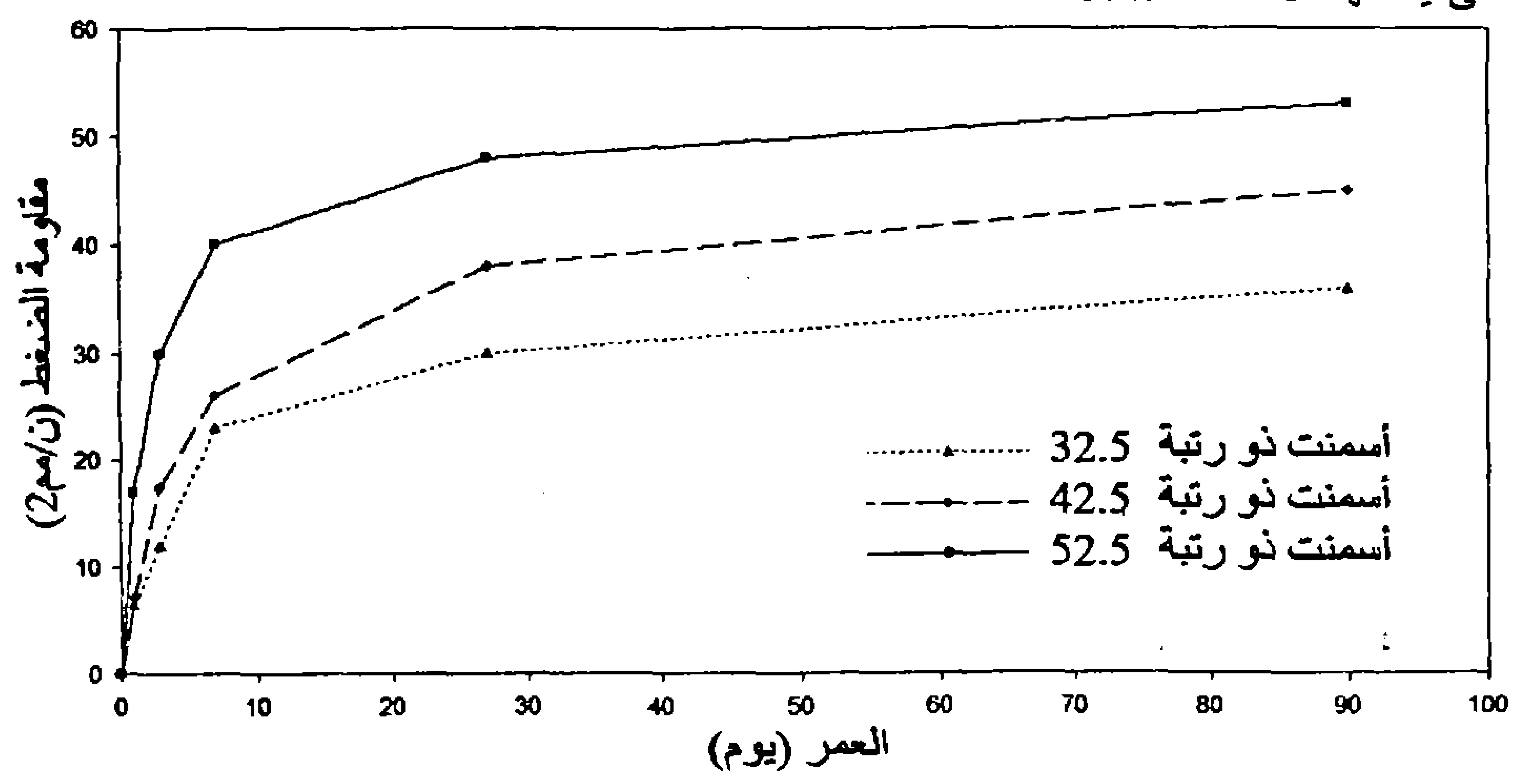
$$f_{cu} = \frac{K_1}{K_2^{W/C}}$$

حيث K2, K1 ثوابت وضعية تمثل تأثير العوامل الأخرى على المقاومة.

2ــ تأثير خواص الأسمنت:

تعتمد مقاومة الخرسانة المكوَّنة من الأسمنت البورتلاندي على تركيب ونعومة الأسمنت. ومن المعروف أن المكونين الأساسين للأسمنت هما سليكات ثلاثي وثنائي الكالسيوم (C_3S، C_2S). حيث تصل نسبتهما في الأسمنت إلى 80%. وكلما زادت نسبة سيلكات ثلاثي الكالسيوم، فإنه ينتج عن ذلك مقاومة مبكرة عالية. والعكس، فإنه كلما قلت نسبة سليكات ثلاثي الكالسيوم وزادت سليكات ثنائي الكالسيوم، أدى ذلك إلى الوصول إلى مقاومة الخرسانة ببطء. وقد وُجد أن ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) يُحسّن من المقاومة المبكرة؛ نظراً لتفاعله مع الجبس والماء وتكوين مونوسلفوألومينات. ولذلك في حالة استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات (نسبة C_3A منخفضة) ومادة مؤجلة للشك، قد تكون المقاومة المبكرة ضعيفة جداً.

وتؤثر نعومة الأسمنت على مقاومة الخرسانة، حيث أن زيادة المساحة السطحية تُزيد النعومة؛ مما يؤدي إلى زيادة معدل إماهة الأسمنت، مما يكسب الخرسانة مقاومة كبيرة في الأيام الأولى. ويظهر ذلك في الأسمنت البورتلاندي سريع التصلد، حيث تزداد نعومة الأسمنت سريع التصلد، مما يجعله يصل إلى مقاومة انضغاط عالية في الأيام الأولى. وتؤثر رتبة الأسمنت تأثيراً مباشراً على اكتساب المقاومة. وشكل (7ــ3) يوضح تأثير رتبة الأسمنت؛ حيث يحقق الأسمنت 52.5 مقاومة أكبر من 42.5 و32.5 خاصة المقاومة المبكرة التي يحققها الأسمنت 52.5.



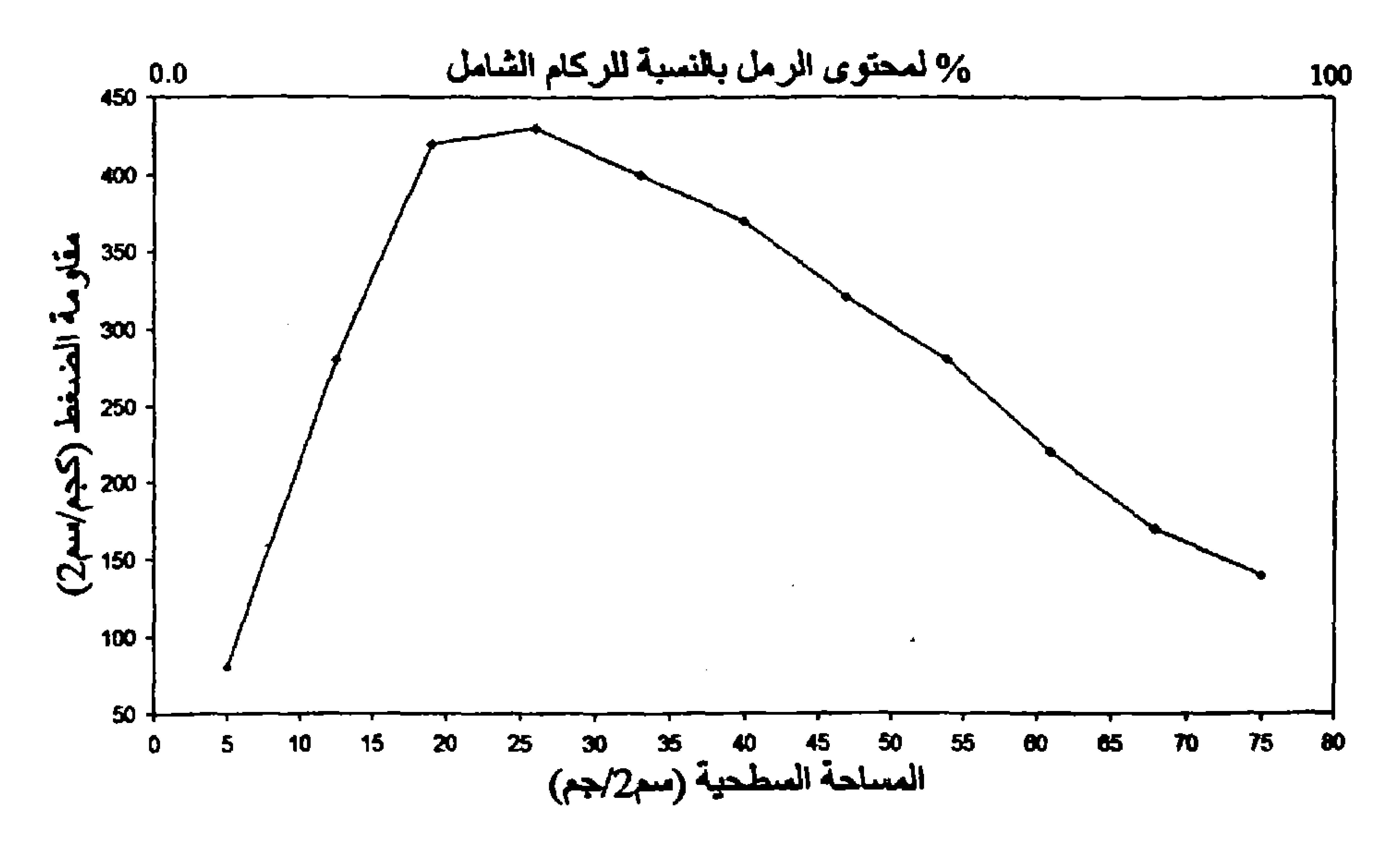
شكل (7ــ3) تأثير رتبة الأسمنت على مقاومة الخرسانة

وكلما زادت نعومة الأسمنت تزيد مقاومته المبكرة.

3ــ تأثير الركام:

بالرغم من أن تأثير نسبة المياه إلى الأسمنت هو العامل الأكثر أهمية، إلا أنه لا يمكن إهمال تأثير الركام. ويؤثر نوع وتدرج الركام على مقاومة الخرسانة. ولكن مقاومة الركام للضغط غالباً لا تؤثر على مقاومة الخرسانة ذات المقاومة الضعيفة والمتوسطة؛ حيث تزيد مقاومة ضغط الركام غالباً على مقاومة انضغاط العجينة الأسمنتية.

ومن المعلوم أن استخدام رمل متدرج خشن يحقق مقاومة ضغط أعلى من الرمل الناعم. وكلما زادت النسبة المئوية لمحتوى الرمل بالنسبة للركام الشامل، تقل مقاومة الضغط. ولذلك يجب عدم المبالغة في زيادة محتوى الرمل. ويؤثر المحتوى النسبي للركام الكبير والصغير على مقاومة الخرسانة؛ حيث أنه بزيادة نسبة الرمل تزيد المساحة السطحية وبذلك تقل المقاومة. وشكل (7ــ4) يوضح تأثير المساحة السطحية، ولذلك يفضل استخدام مساحة سطحية للركام تتراوح بين 25 و35 سم^2/جرام، إلا فى حالة الخرسانات الخاصة مثل الخرسانة ذاتية الدمك حيث يزيد محتوى الرمال لتحقيق هدف آخر وهو عدم الانفصال.

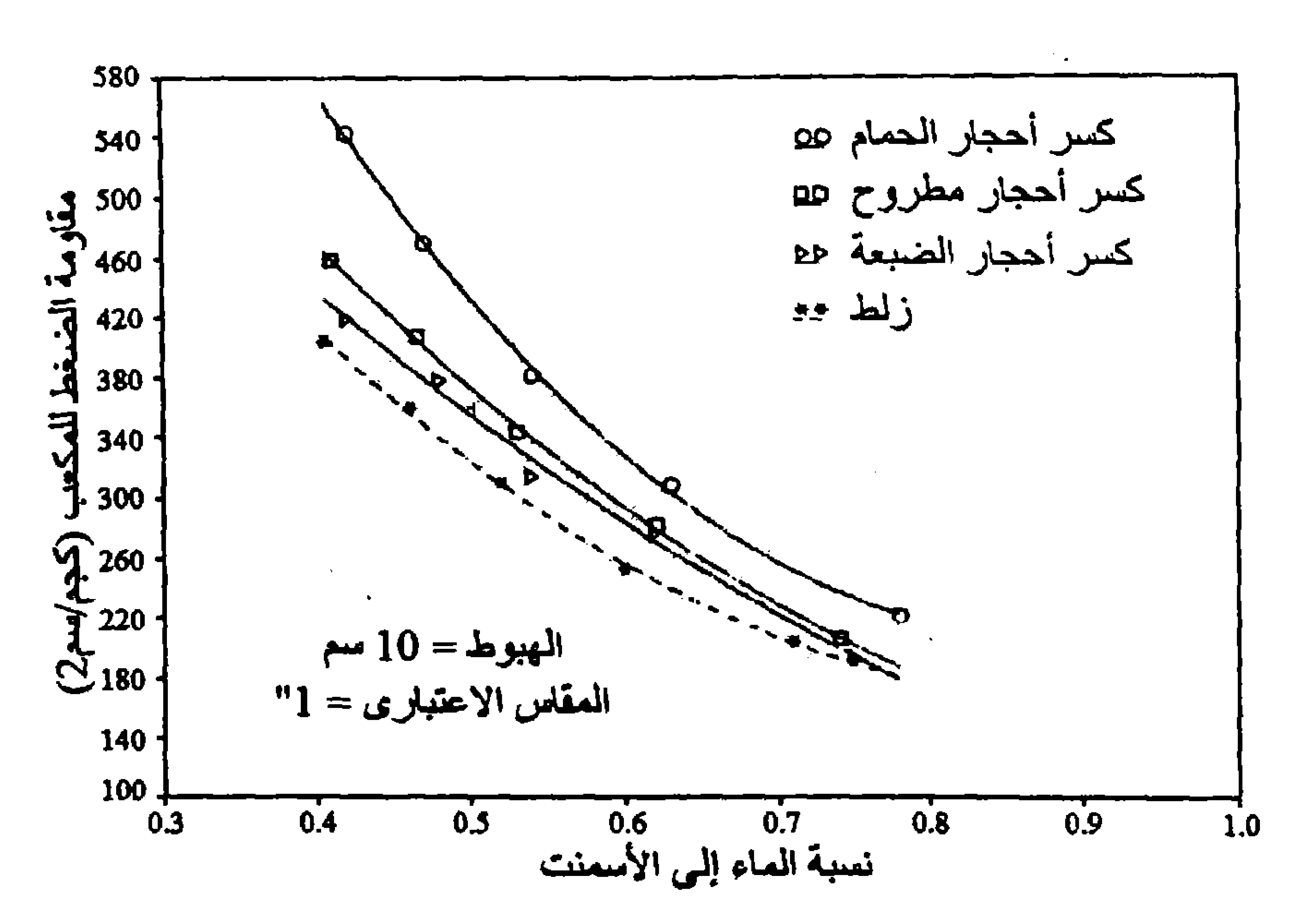


شكل (7ــ4) تأثير المساحة السطحية على مقاومة الخرسانة

يؤثر نوع الركام الكبير تأثيراً مباشراً على مقاومة الخرسانة، حيث أن الانهيار إما أن يحدث فى المونة الأسمنتية أو يحدث فى حبيبات الركام أو يحدث بين السطح الفاصل بين حبيبات الركام والمونة. ولذلك فإن الخرسانة الخفيفة المصنوعة من الطين القابل للتمدد (Expanded Clay) يحدث لها انهيار فى الركام. بينما فى حالة الركام الكبير ذو الصلادة العالية مثل الزلط، فإن الانهيار غالباً ما يتم نتيجة ضعف الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية. أما الركام ذو الصلادة العالية مثل الدولوميت، فإن الانهيار غالباً ما يحدث فى المونة الأسمنتية.

ولقد أثبتت الأبحاث المجراه فى جامعة الأسكندرية أن استخدام كسر الأحجار الجيرية الوردية اللون الصلبة فى الخرسانة يحقق مقاومة ضغط أعلى من خرسانة الزلط. وذلك نظراً

لتحسن الترابط بين حبيبات كسر الأحجار والمونة الأسمنتية ولعوامل أخرى. وشكل (7ـــ5) يوضح مقارنةً بين خرسانة الزلط وخرسانة كسر الأحجار من محاجر مختلفة بمصر لــنفس هبوط الخرسانة.



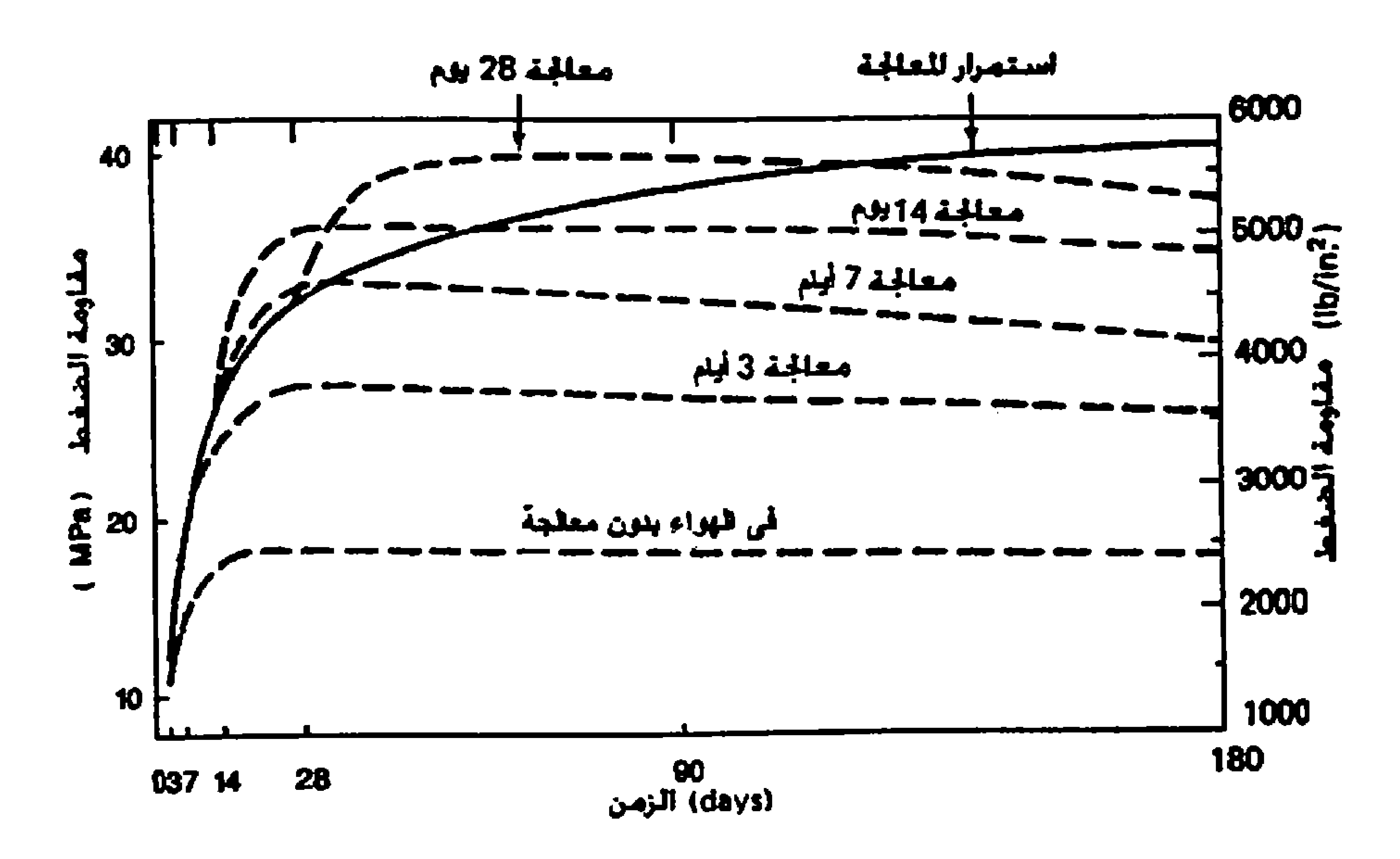
شكل (7ـ5) تأثير نوع الركام الكبير على مقاومة الضغط للخرسانة لنفس هبوط الخرسانة

ويرجع تحسن مقاومة خرسانة ركام الحجر الجيرى الصلد كما سبق وأن ذكرنــا لتحــسن خواص الترابط بين المونة الأسمنتية وكسر الحجر الجيرى الذى يتميز بالخشونة وبه قليل من المسامية، بالإضافة إلى وجود ترابط كيميائى بين الحجر الجيرى ومونة الأسمنت.

وقد وُجد أن تأثير نوع الركام الكبير يتوقف على نسبة الماء للأسمنت. فلنسبة W/C أقــل من 0.4 نجد أن مقاومة الضغط لخرسانة كسر الأحجار أكبر من مثيلتها للزلط بحوالى 18%. ويقل هذا التأثير مع زيادة نسبة الماء إلى الأسمنت؛ حيث يتلاشى هذا التأثير تقريباً عند نسبة ماء إلى أسمنت 0.65.

4ـ تأثير المعالجة:

يلزم معالجة الخرسانة بعد التصلد مباشرة لتعويض الماء المتبخر مــن الخلطـــة، لتــأخير وتقليل الانكماش المبكر للخرسانة وتوفير ماء كافٍ لعمليةِ الإماهه المستمرة للخرسانة. وكلما كانت المعالجة مبكرة (فى الأيام الأولى) يؤدى ذلك للوصول إلى مقاومة الخرسانة المطلوبة، شكل (7ـ6)، والشكل يوضح أهمية معالجة الخرسانة حتى وإن غابت فى الأيام الأولى.



شكل (7ـ6) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة

وتوجد عدة طرق لمعالجة الخرسانة من بينها:

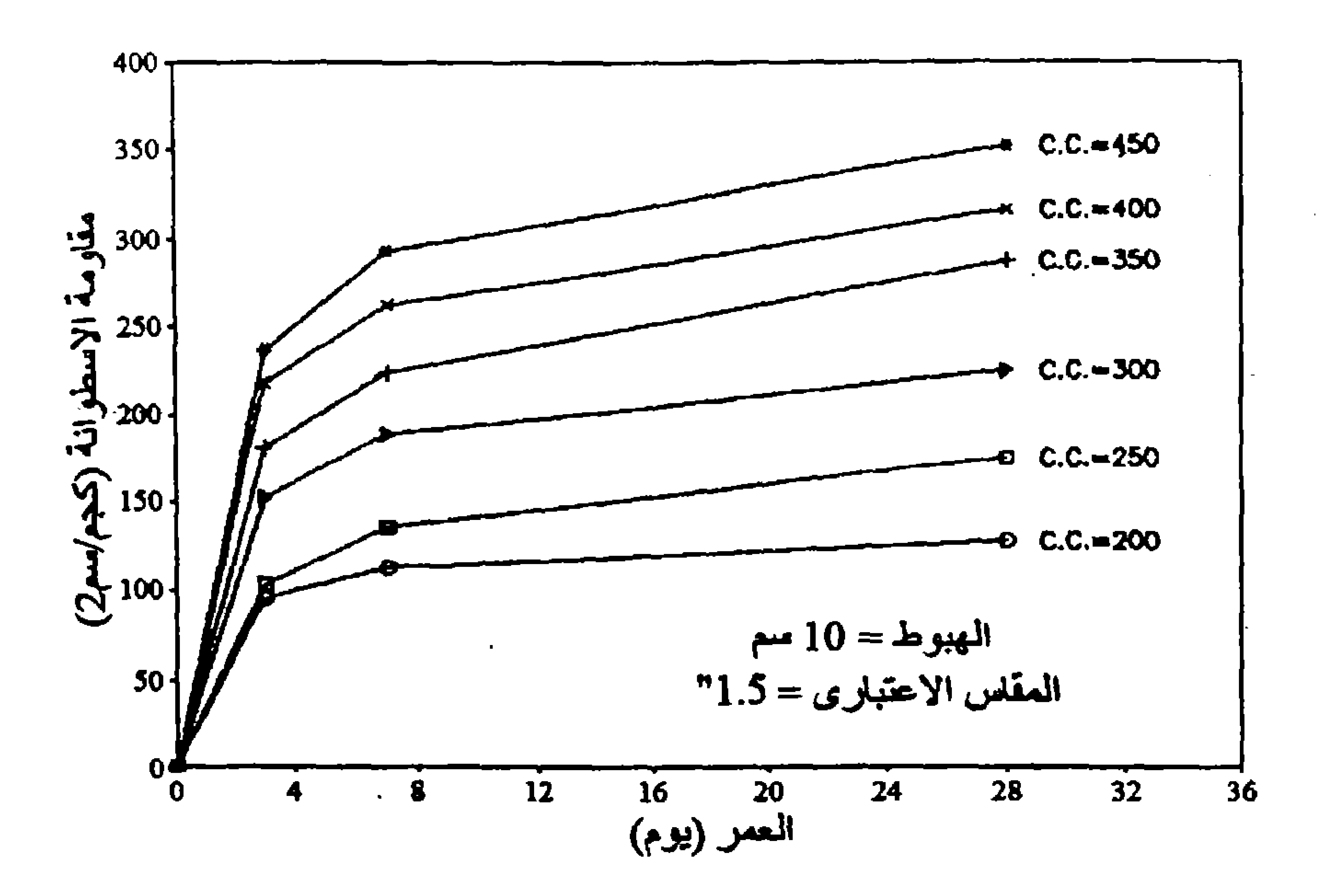
1. رش الخرسانة بالماء: وهذه الطريقة فعاليتها قليلة نظراً لعدم بلل الخرسانة بالماء باستمرار.
2. بلل الخرسانة: عن طريق تغليفها بواسطة خيش مبلل، وهى طريقة فعاليتها جيدة.
3. التغطية بطبقة من الرمال المشبعة بالماء.
4. الدهان بمواد تعمل على منع خروج الماء من داخل الخرسانة للخارج: ويجب التأكد من صلاحية تلك المواد قبل استخدامها، وغالباً ما تستخدم فى حالة عدم [illegible] الماء للمعالجة.
5. المعالجة ببخار الماء: حيث تؤدى إلى تعجيل المقاومة المبكرة.

5ـ تأثير الإضافات:

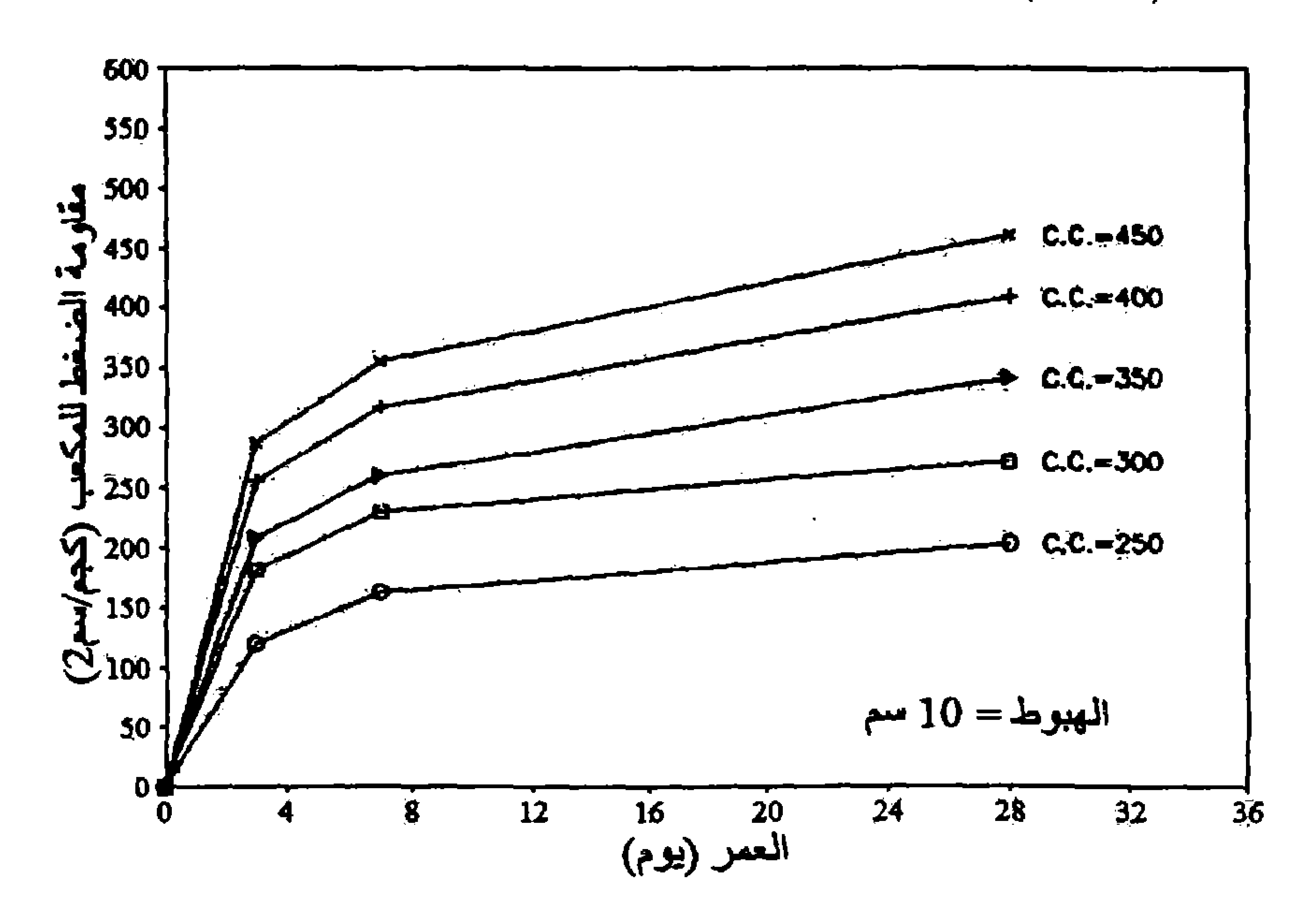
للإضافات الكيميائية والمعدنية تأثير على مقاومة الضغط. وسيتم التعرض لها فى الباب الثامن.

6ـ العمر:

كلما تقدم عمر الخرسانة تتحسن مقاومة الضغط، مالم تهاجم الخرسانة بمواد ضارّة. ويتضح ذلك من شكلى (7ـ6) و(7ـ7)، حيث أنه كلما تقدم عمر الخرسانة تزيد كمية الأسمنت المماهة ويتكون مزيد من الجل. وأثبتت الأبحاث استمرار زيادة مقاومة الخرسانة لفترة طويلة قد تصل لخمسة سنوات إذا توفر ماء معالجة.



شكل (7ـ7ـ أ) العلاقة بين العمر ومقاومة الضغط للاسطوانة لمحتويات أسمنت مختلفة



شكل (7ـ7ـ ب) العلاقة بين العمر ومقاومة الضغط للمكعب لمحتويات أسمنت مختلفة

من المهم جداً بالنسبة للمهندس أن يتعرف على نسبة مقاومة الضغط للخرسانة عند عمر معين منسوبة إلى مقاومة 28 يوم.

وهذا العامل بالطبع يتأثر بعوامل متعددة؛ مثل رتبة الأسمنت ونعومة الأسمنت وغنى الخلطة بمحتوى أسمنتها، والذى يتضح من شكل (7ـ7). وتزداد أهمية محتوى الأسمنت فى

الخرسانة ذات المقاومة العالية حيث أنه لنفس الهبوط تتحسن المقاومة مع زيادة محتوى الأسمنت. ويجب على المهندس تحديد نسبة مقاومة الضغط لليوم لمقاومة الـ 28 يوم فى حالة صب الخرسانة بالشدات النفقية، ونسبة المقاومة عند الثلاثة أو السبعة أيام بالنسبة للمقاومة عند 28 يوم للإنشاء العادى وذلك لفك الشدة. وهنا يختبر المهندس عينات الخرسانة عند يوم أو عند ثلاثة أيام أو سبعة أيام وباستخدام النسب التقريبية يتم توقع مقاومة الـ 28 يوم، وبناءً على ذلك يقرر المهندس هل سيتم صب الخرسانة للأعضاء اللاحقة إذا كانت المقاومة المتوقعة تحقق المقاومة المطلوبة، أم سيتم التوقف لدراسة أسباب نقص المقاومة المتوقع.

وجدول (7ـ1) يوضح النسب السابق ذكرها مبنية على دراسة قام بها Meyer لأسمنت بورتلاندى عادى بدون أية اضافات .

جدول (7ـ1) نسبة مقاومة الضغط عند عمر معين إلى مقاومة الضغط عند عمر 28 يوم

نسبة الماء للأسمنت	0.80				0.60				0.40			
العمر يوم	1	3	7	28	1	3	7	28	1	3	7	28
نسبة المقاومة عند العمر إلى المقاومة عند 28 يوم	0.09	0.4	0.7	1	12	0.4	0.7	1	0.19	0.57	0.78	1

ويجب على المهندس فى الموقع تحديد تلك النسبة باستخدام نفس الخامات الموجودة فى الموقع واستخدامها بعد ذلك.

7ـ تأثير إجهاد الضغط العرضى (Lateral Stress):

تتأثر مقاومة الخرسانة فى الضغط بوجود إجهاد عرضى أو إجهادات مركبة. وسوف يتم تناول هذا التأثير فى بند (7ـ6).

7ـ3 العوامل المؤثرة على اختبار مقاومة الضغط:

يحدد الكود المصرى نتيجة اختبار مقاومة الضغط لمكعب قياسى بأبعاد 150×150×150 مم كتجربة قياسية للتعبير عن مقاومة الضغط. ويحدد معهد الخرسانة الأمريكى نتيجة اختبار اسطوانة قياسية (قطر 150 مم وارتفاع 300 مم) فى الضغط للتعبير عن مقاومة الضغط. وهناك العديد من العوامل التى تؤثر على نتيجة اختبار الضغط نذكر منها ما يلى:

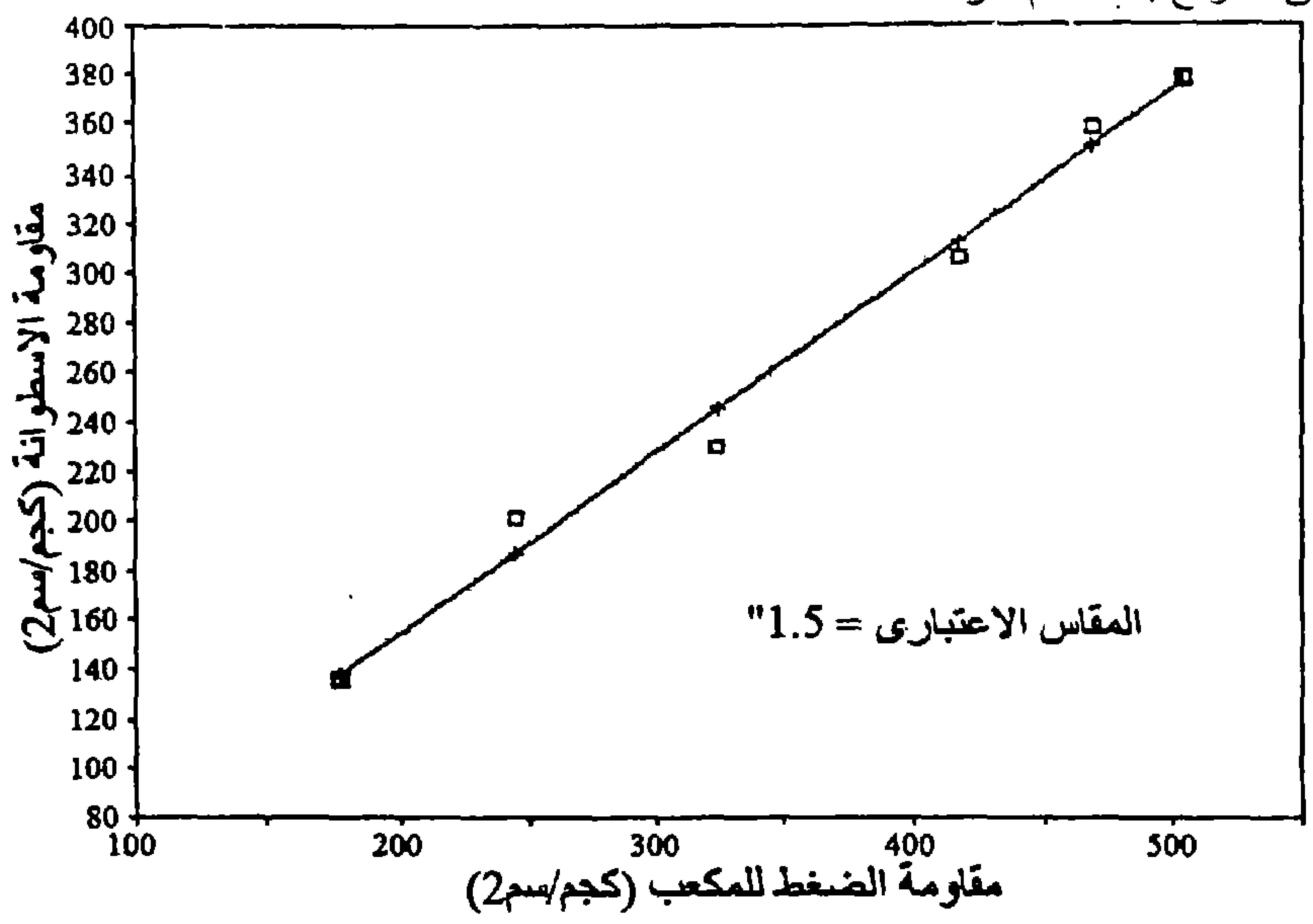
أ.شكل عينة الاختبار:

من الأبحاث والتجارب السابقة وُجد أن لنفس رتبة الخرسانة (خرسانة لها نفس المكونات ولها نفس ظروف الصب والاختبار)، فإن مقاومة ضغط الخرسانة للمكعب (F_{cu}) أكبر من مقاومة الضغط للاسطوانة (F_{cy}). والفرق فى المقاومة بينهما يقل مع زيادة مقاومة الخرسانة. ويمكن استخدام المعادلة التالية للربط بين المقاومتين.

(المقاومات ن/مم^2).........

$$F_{cy} = F_{cu}(0.76 + 0.20 \log \frac{F_{cu}}{20})$$

وشكل (7ـ8) يوضح احدى العلاقات بين مقاومة الضغط للمكعب ومقاومة الضغط للأسطوانة، والتى تتغير كثيراً بمستوى مقاومة الضغط والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام ونسبة الارتفاع للقطر بالنسبة للأسطوانة. ولذلك يفضل أن يقوم المهندس بتحديد هذه النسبة فى الموقع باستخدام خرسانة المنشأ.



شكل (7ـ8) العلاقة بين مقاومة ضغط المكعب ومقاومة الاسطوانة

ب. نسبة الارتفاع للقطر $(\frac{h}{d})$:

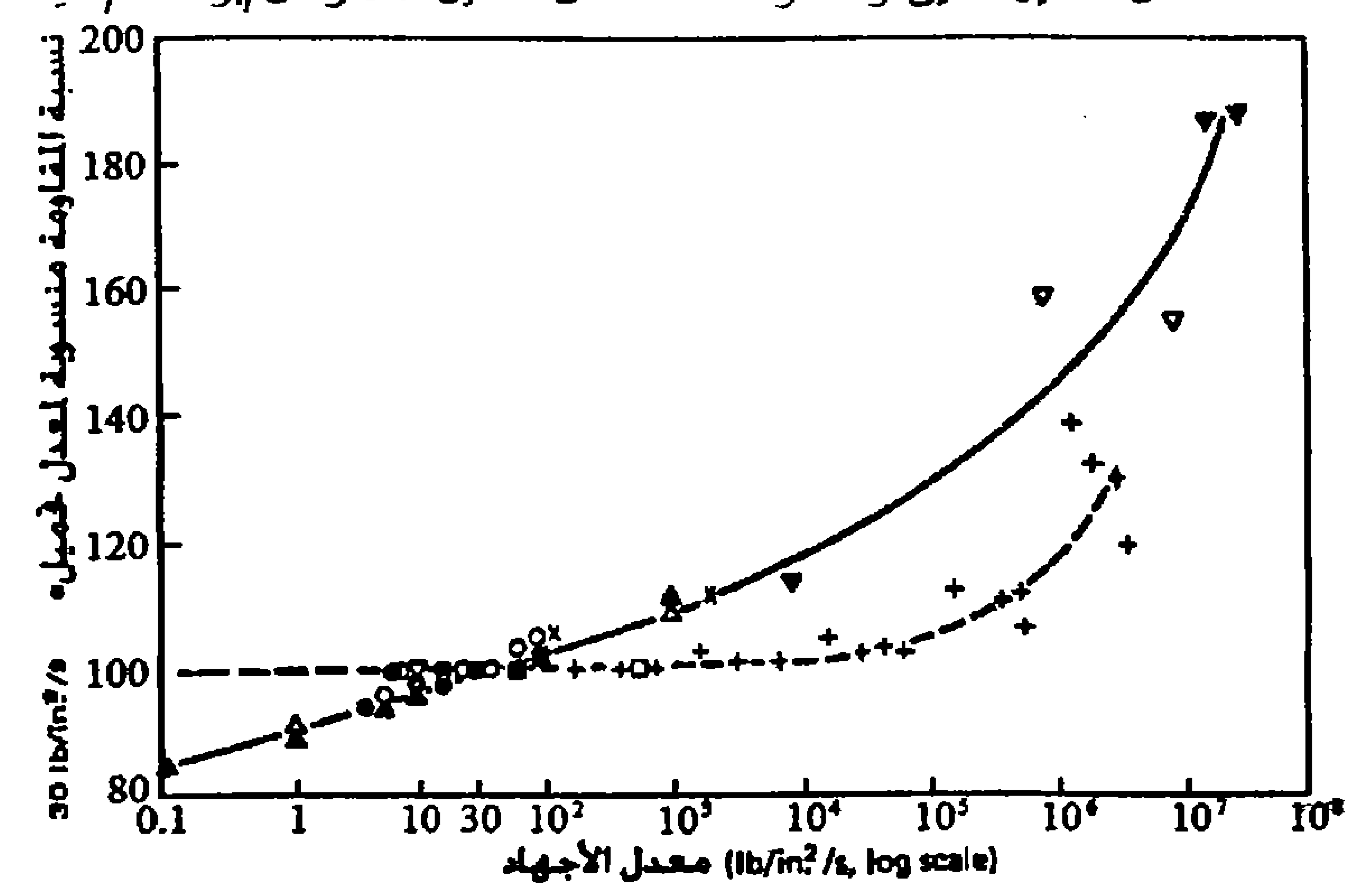
كلما زادت نسبة الارتفاع للقطر تقل مقاومة الضغط. وكثيراً ما يتعرض المهندس لاختبار عينات غير قياسية. وفى تلك الحالة فيجب عليه استخدام معامل تصحيح للمقاومة لتحويل العينة الغير قياسية إلى نتيجة مقاومة اسطوانة قياسية $(\frac{h}{d} = 2.0)$. وجدول (7ـ2) يحتوى على قيم التصحيح المنصوص عليها فى المواصفات البريطانية (BS) وهيئة المواد الأمريكية (ASTM).

جدول (7ـ2) معامل تصحيح نتائج اسطوانة غير قياسية إلى اسطوانة قياسية

نسبة الارتفاع إلى القطر $(\frac{h}{d})$	معامل التصحيح	
	ASTM C 42-77	BS 1881-1970
2.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98
1.50	0.96	0.96
1.25	0.93	0.94
1.00	0.87	0.92

ج. معدل التحميل:

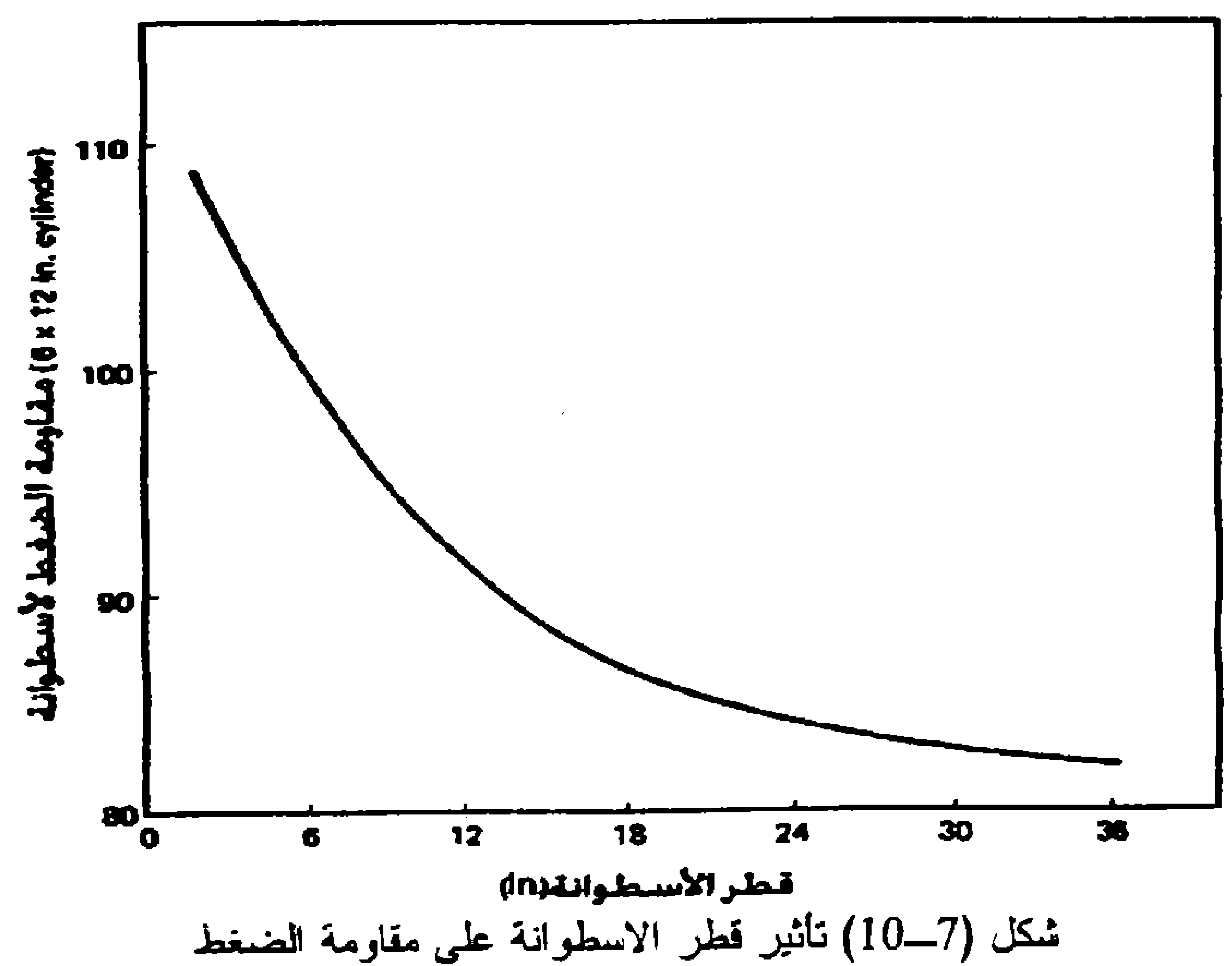
يجب أن يلتزم من يقوم بإجراء الاختبار بتحميل العينات، بمعدل التحميل التـــي تــنص عليه المواصفات القياسية؛ لأنه إذا تم التحميل بمعدل أعلى فإن المقاومة سوف تزيد زيادة كاذبة والعكس صحيح. وشكل (7ـــ9) يوضح تأثير معدل التحميل على النسبة بين مقاومة الضغط عند معدل تحميل معين والمقاومة عند معدل تحميل 30 رطل/بوصة^2/ثانية.



شكل (7ـــ9) تأثير معدل التحميل على نسبة مقاومة الضغط

د. مقاس عينة الاختبار:

يؤثر مقاس عينة الاختبار تأثير مباشر على مقاومة ضغط الخرسانة، حيـــث تتحـــسن المقاومة كلما نقصت أبعاد العينة. وشكل (7ـــ10) يوضح تأثير قطـــر الاســـطوانة علـــى مقاومة الضغط.



شكل (7ـــ10) تأثير قطر الاسطوانة على مقاومة الضغط

7ـ4 مقاومة شد الخرسانة Tensile Strength :

بعض المنشآت والعناصر لا يسمح فيها بظهور الشروخ تماماً (مثل خزانات السوائل والرصف الخرسانى)، وفى بعضها يسمح بشرخ سمكه محدود جداً. وفى تلك الحالة فإن الخرسانة يجب أن تكون لها مقاومة شد جيدة تكون قادرة على تحمل إجهادات الشد بأمان. وعموماً فإن مقاومة الشد يمكن تحديدها بالشد المباشر للأغراض البحثية فقط. حيث يتم الحاجة لاحتياطات خاصة لمسك عينة الاختبار، ويمكن تحديد مقاومة الشد بطريقة غير مباشرة عن طريق اختبار شد الانفصال (أو شد الانفلاق كما يذكر فى بعض المراجع) (Splitting Tension Test)، أو عن طريق تحديد معاير الكسر (Modulus of Rupture)، وذلك بإجراء اختبار الانحناء كما سيسرد لاحقاً. وأثبتت الأبحاث أن مقاومة الشد المباشرة = 0.85 من مقاومة شد الانفصال، وأن مقاومة الشد = 0.60 من مقاومة معاير الكسر.

7ـ4ـ1 مقاومة معاير الكسر:

(Modulus of Rupture Strength) (Flexural Strength):

تعرَّف مقاومة معاير الكسر بأنها أقصى إجهاد شد تتحمله الخرسانة فى جهة الشد عند تعرض الخرسانة لأحمال انحناء. ويمكن تحديدها عملياً عن طريق اختبار منشور بأبعاد (100×100×500مم) فى الانحناء إما بتحميل ثلاثى (Three Points Loading)، أو بتحميل رباعى (Four Points Loading). ويُحسب معاير الكسر (f_{tu}) من المعادلة:

$$f_{tu} = \frac{M_u . y}{I}$$

حيث

← M_u = عزم الانهيار للمنشور.

← $y = \frac{1}{2}$ عمق المنشور = 50 مم.

← I = عزم القصور الذاتى للمنشور = $\frac{100^4}{12}$.

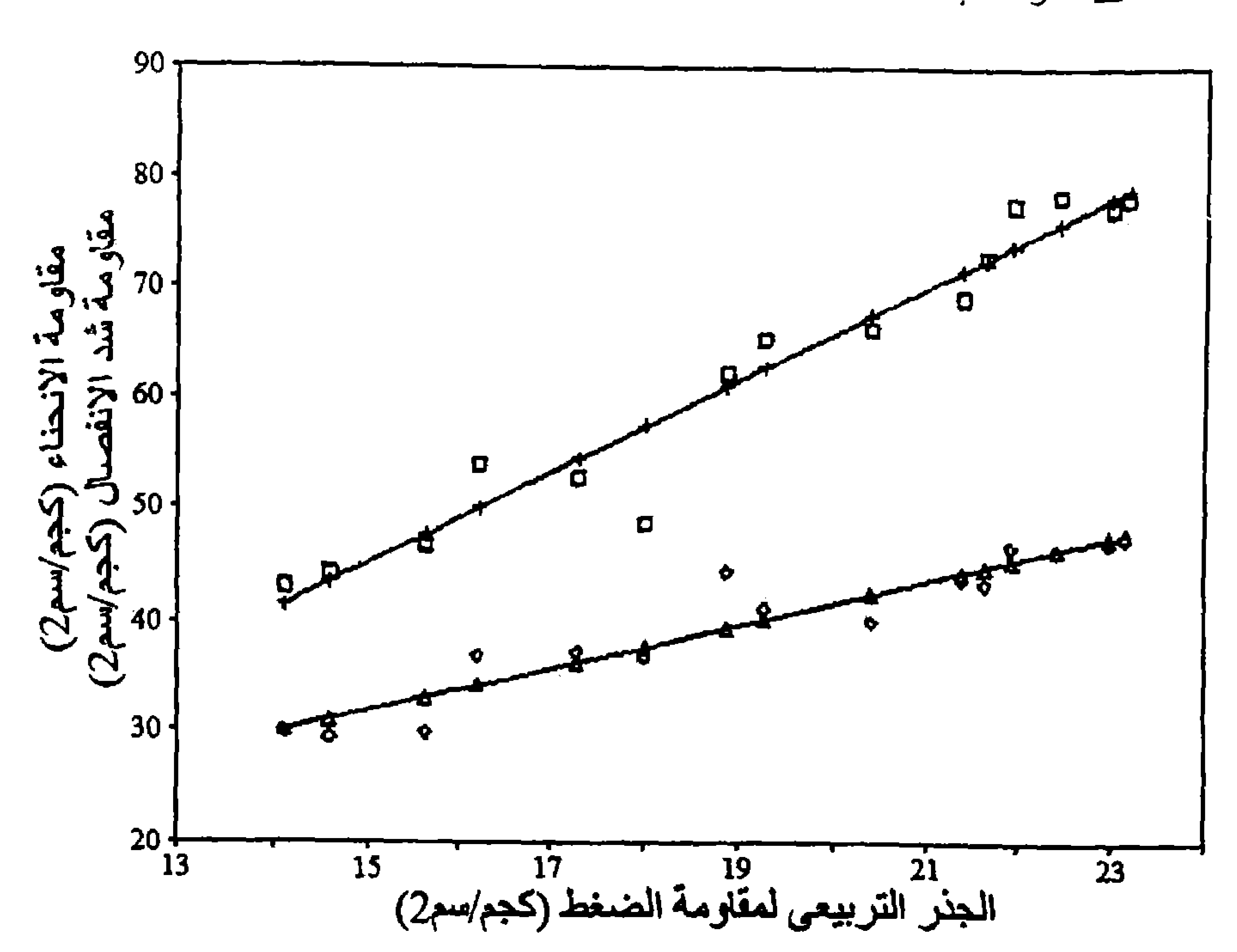
ويلاحظ أن هناك ارتباط وثيق بين مقاومة الضغط ومقاومة معاير الكسر. فكلما زادت مقاومة الضغط تزيد مقاومة معاير الكسر لكن بمعدل متناقص، كما هو موضح فى شكلى (7ـ11).

وللخرسانة المستخدمة فى أعمال الخرسانة المسلحة ذات مقاومة ضغط أكبر من 20 ن/مم^2 ، تتراوح مقاومة الانحناء بين 0.07 ، 0.16 من مقاومة الضغط. أما الخرسانة ذات المقاومة الضعيفة (أقل من 20 ن/مم^2)، والتى غالباً ما تستخدم فى أعمال الخرسانة العادية، فتتراوح تلك النسبة بين 0.16 ، 0.20. وينص الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية على حساب مقاومة الانحناء من المعادلة التالية :

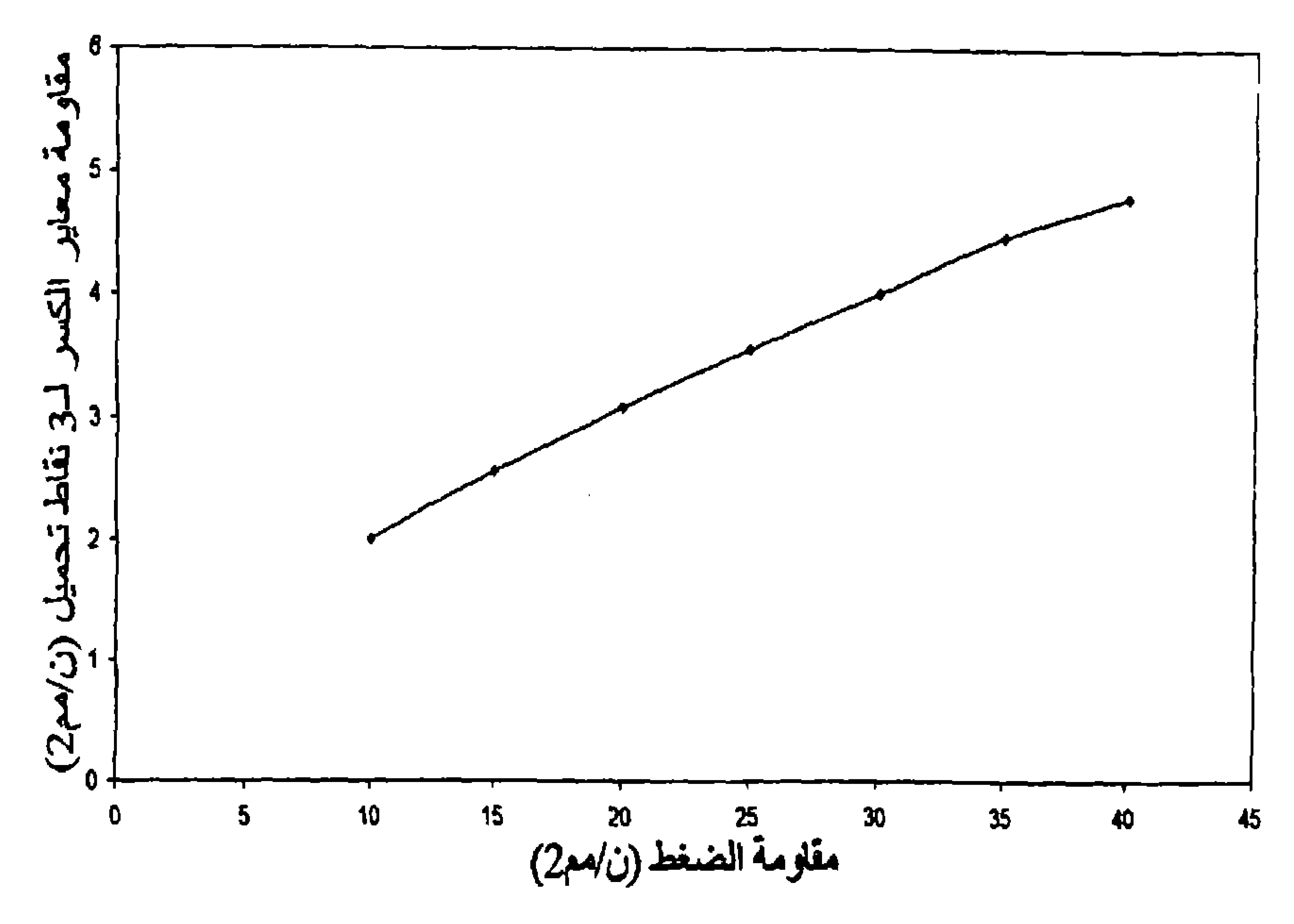
$$f_{tu} = 0.6\sqrt{f_{cu}}$$

وتؤثر طريقة التحميل على نتيجة الاختبار، حيث أن قيم معاير الكسر فى التحميل الثلاثى أكبر من القيم المأخوذة من التحميل الرباعى بمقدار تتراوح بين 12، 30%، انظر شكل (7ـ12). كما أن الركام المكسر يحقق مقاومة انحناء أفضل من الركام الدائرى.

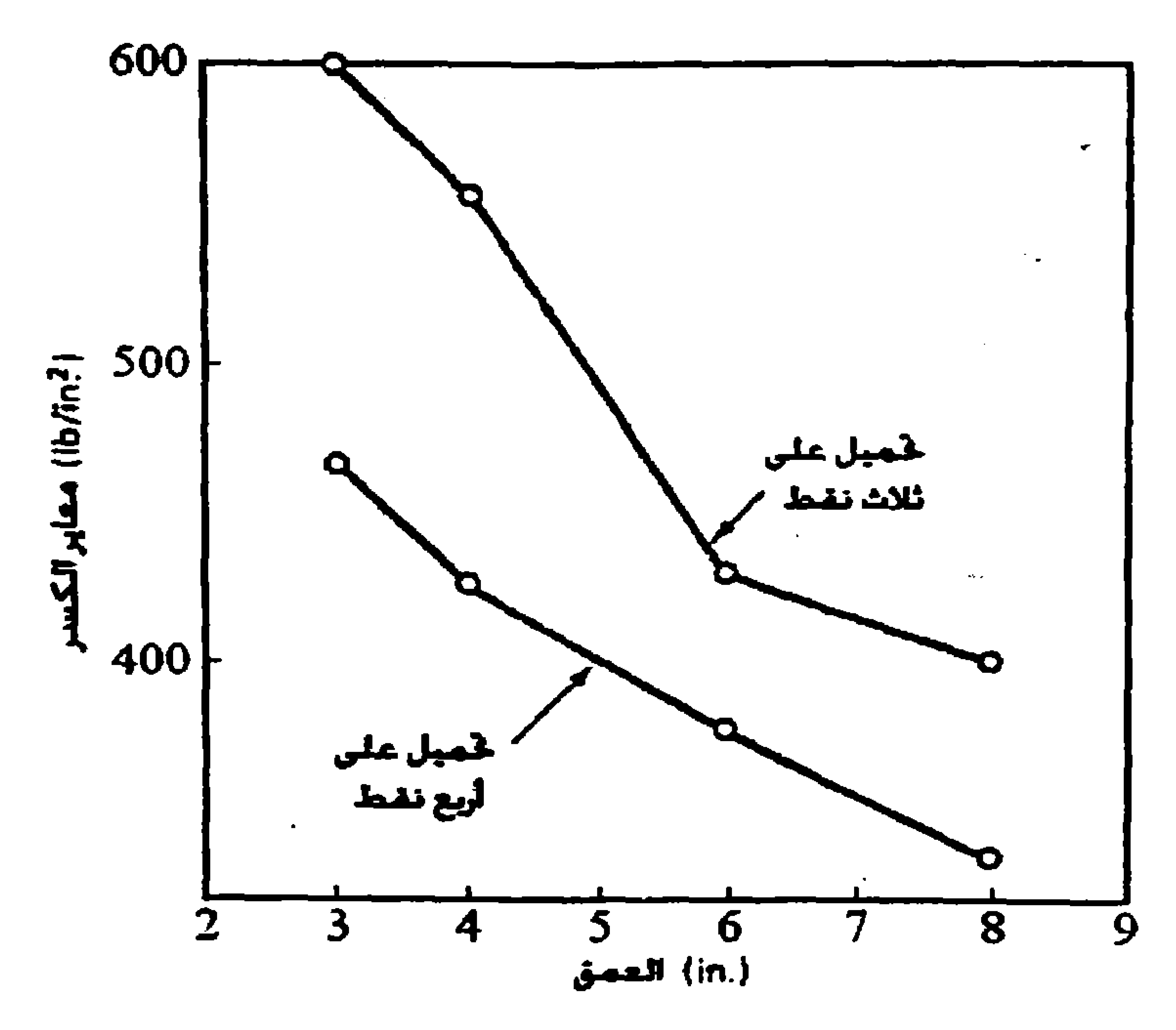




شكل (7ـ11ـ أ) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء ومقاومة شد الانفصال لكسر أحجار من منطقة الحمام

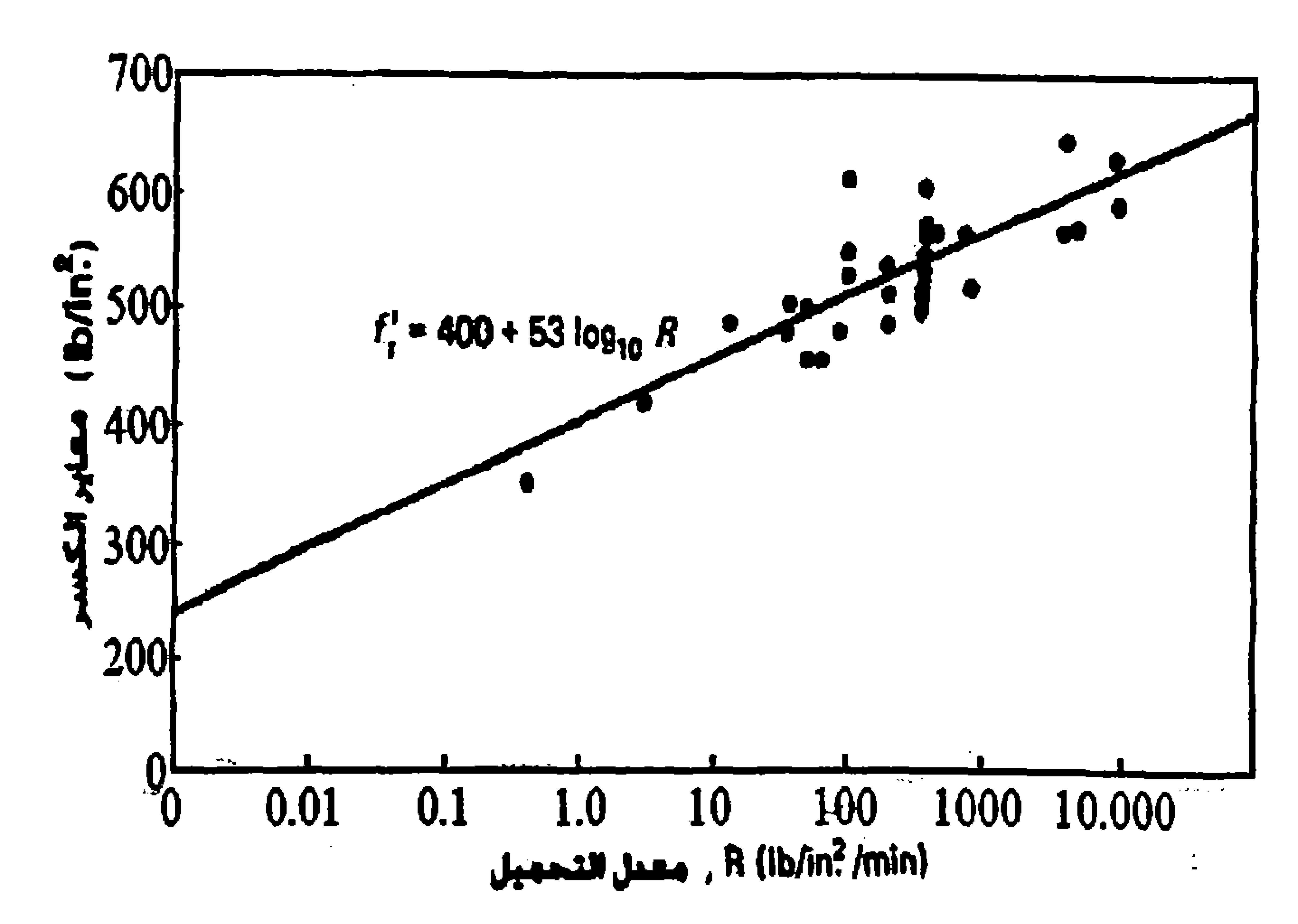


شكل (7ـ11ـ ب) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة معاير الكسر



شكل (7ـــ12) تأثير عمق الكمرة ونوع التحميل فى الانحناء على معاير الكسر

كما أن معدل التحميل فى الانحناء يؤثر تأثيراً ظاهرياً على مقاومة الانحناء، ويتـــضح ذلك من شكل (7ـــ13)، حيث أنه كلما زاد معدل التحميل زاد معاير الكسر.



شكل (7ـــ13) تأثير معدل التحميل على معاير الكسر

7ـ4ـ2 مقاومة شد الانفصال (Splitting Tensile Strength):

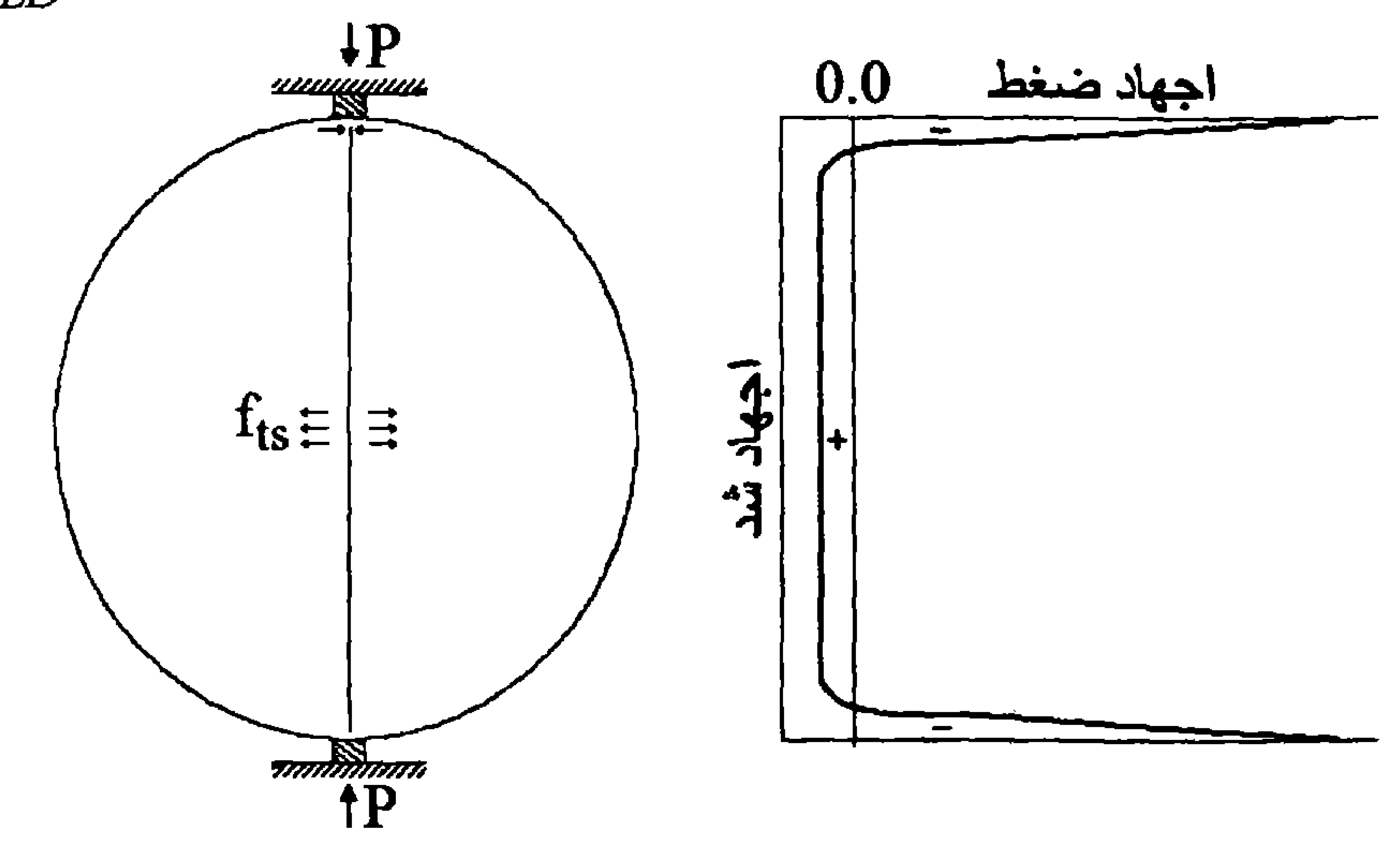
كما هو موضح بشكل (7ـ14) فإنه إذا عُرضت اسطوانة من الخرسانة لحمل ضغط على راسمها الخارجى، فإنه تتولد إجهادات ضغط عند الأطراف أسفل الحمل مباشرة، يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$\text{إجهاد الضغط} = \frac{2P}{\pi LD}\left[\frac{D^2}{r(D-r)}-1\right]$$

حيث r بعد النقطة عن قمة الاسطوانة و L طولها و D قطرها.

ويمكن حساب إجهادات الشد المتوسطة فى منتصف الاسطوانة من المعادلة:

$$\text{إجهاد الشد المتوسط} = \frac{2P}{\pi LD}$$

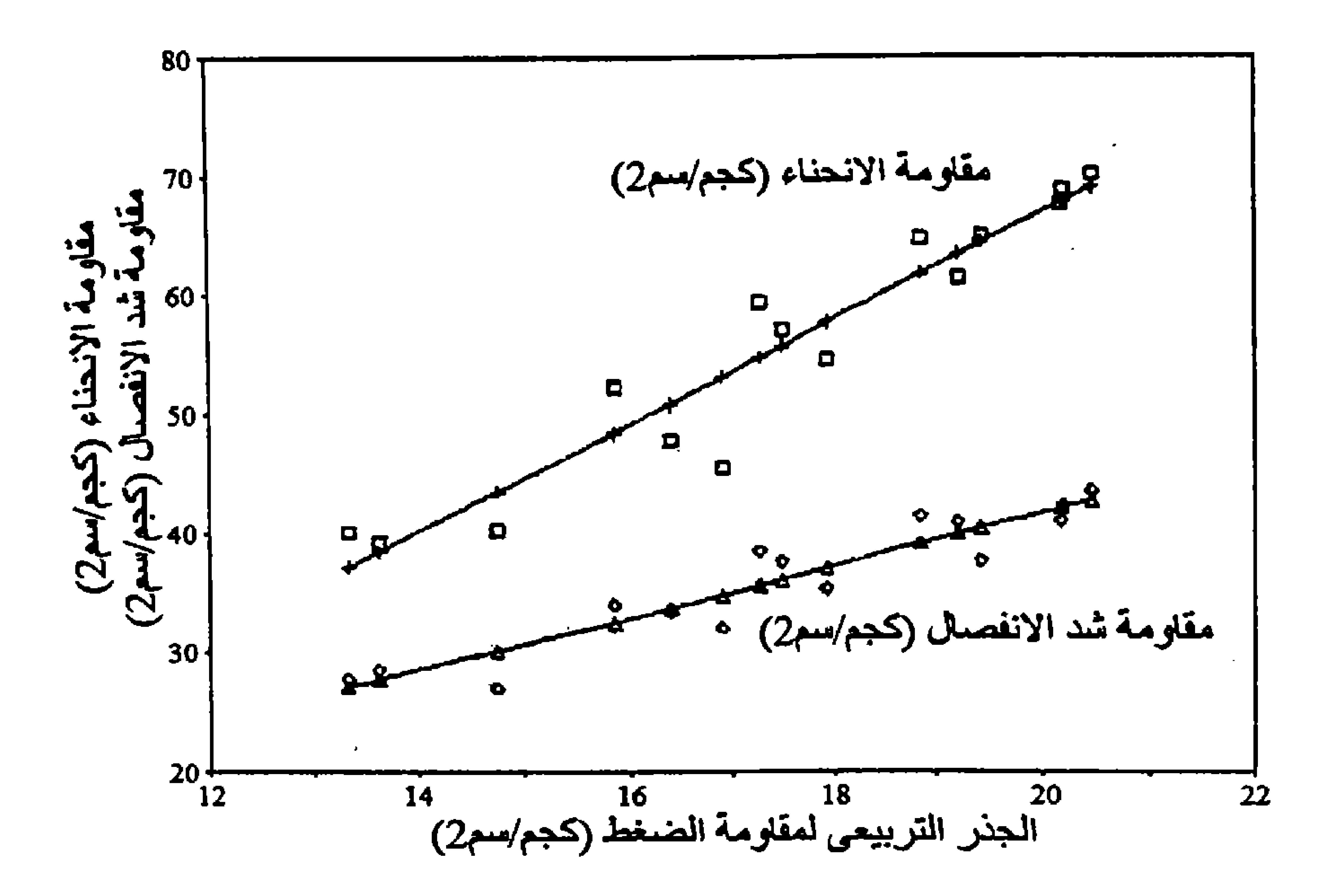


شكل (7ـ14) توزيع الإجهاد العرضى لاسطوانة محملة رأسيا فى اختبار شد الانفصال

فإذا عُرضت اسطوانة خرسانية (قطر 15 وارتفاع 30 سم) لحمل ضغط (P) متزايد حتى حدوث الكسر عند حمل (P_u)، فتُحسب مقاومة شد الانفصال (f_{ts}) من المعادلة:

$$f_{ts} = \frac{2p_u}{\pi LD} = \frac{2p_u(KN)}{\pi \times 300 \times 150} N/mm^2$$

وعند اختبار الاسطوانة يجب وضع شريحة من الخشب الأبلكاج (Plywood) بعرض 25مم وسمك 3مم فى أعلى وأسفل الاسطوانة، حتى تتلاشى تهشيم الخرسانة نتيجة إجهادات الضغط العالية فى أعلى وأسفل الاسطوانة. ويلاحظ أنه يمكن استخدام المكعبات فى تحديد مقاومة شد الانفصال مع استخدام الشريحتين الخشبيتين فى تركيز الحمل فى منتصف المكعب. وأثبتت الأبحاث أن مقاومة شد الانفصال تزيد كلما زادت مقاومة الضغط ولكن بمعدل متناقص، شكل (7ـ15). ويلاحظ أن قيم مقاومة شد الانفصال تتراوح بين 65% إلى 80% من مقاومة الانحناء.



شكل (7ـ15) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء ومقاومة شد الانفصال لكسر أحجار من منطقة الضبعة

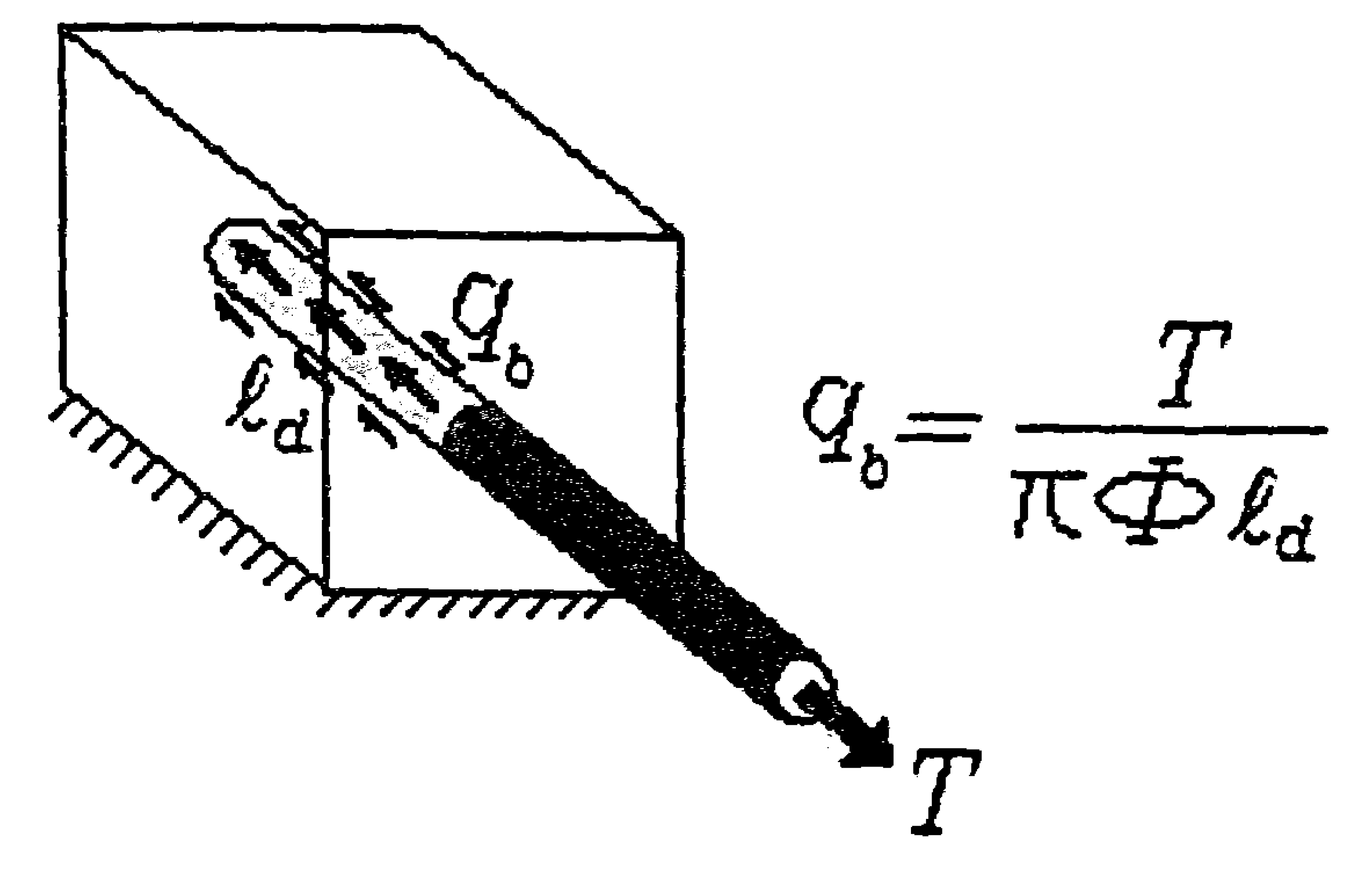
7ـ5 مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح:
Bond between Concrete and Reinforcement Steel:

من المعلوم أنه فى الخرسانة المسلحة يتم وضع أسياخ صلب فى جهة الشهد لتحمل قوى الشد الموجودة الناشئة عن الانحناء أو عن أحمال الشد المباشرة. وفى حالة الأعضاء المعرضة للانحناء، فإن قوى الشد تنتقل من أسياخ التسليح إلى الخرسانة عن طريق إجهادات الترابط (Bond Stress). وهذه الإجهادات يجب أن تكون مسموح بها. وإذا زاد حمل الانحناء بحيث تصل هذه الإجهادات لأقصى قيمة، يحدث انسهيار ناتج عن حدوث زحزحة فى السيخ (Slip of Steel). وتنتشر الشروخ فى تلك الحالة حول الأسياخ. وشكل (7ـ16) يوضح ميكانيكا الترابط . ومعملياً يمكن وضع سيخ لايقل قطره عن 16 مم فى منتصف قالب اسطوانى ويتم الصب بحيث نحافظ على مركزية السيخ وعند عمر 28 يوم يتم شد السيخ لنزعه عن طريق ماكينة اختبار ويتم قياس الزحزحه فى السيخ . ويمكن حساب مقاومة الترابط بإستخدام المعادلة التالية :

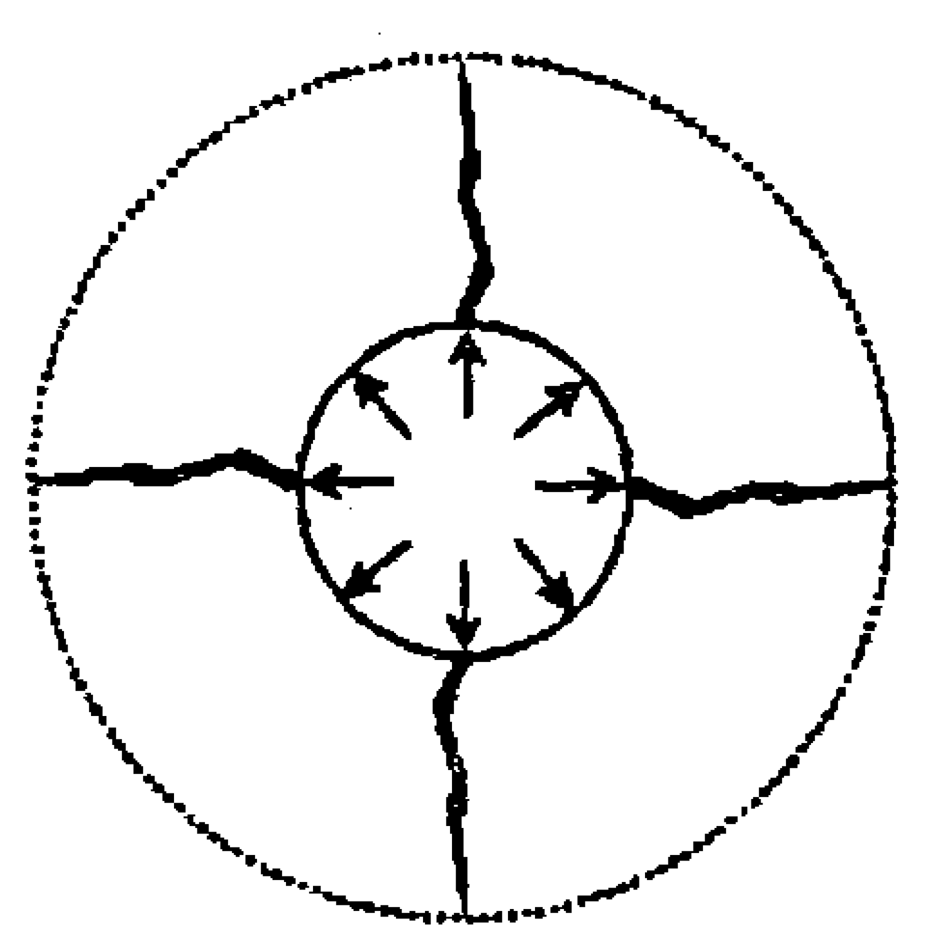
$$q_b = \frac{T}{\pi \Phi l_d}$$

حيث T حمل النزع .
و Φ قطر السيخ
و ld الطول المدفون

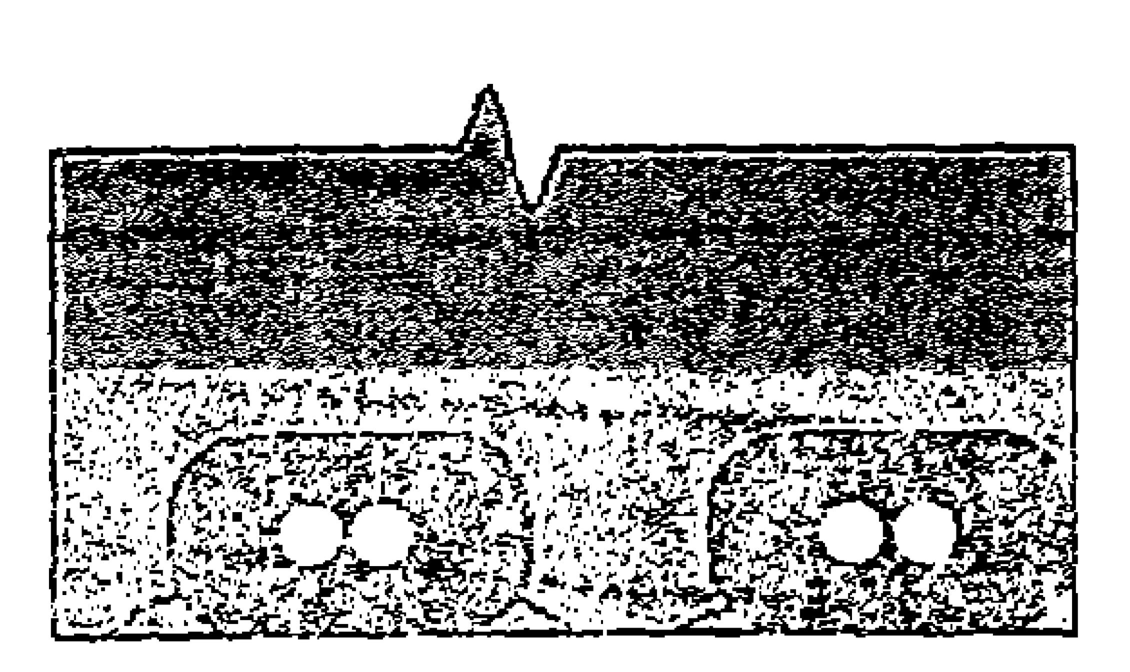
وشكل (7ـ17) يوضح شكل شروخ الانهيار نتيجة فقد مقاومة الترابط. وأغلب هذه الشروخ تسمى شروخ انفصال.

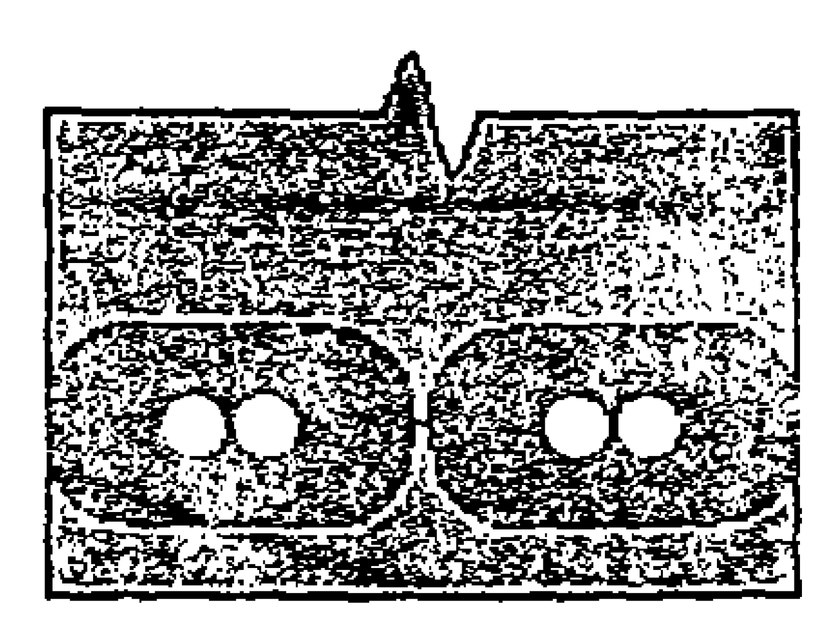


شكل (7ـ16) ميكانيكا إجهادات الترابط بين سيخ التسليح والخرسانة



شروخ الانفصال حول للسيخ
للناتجة من فقد للترابط فى الأسياخ عند للوصلات

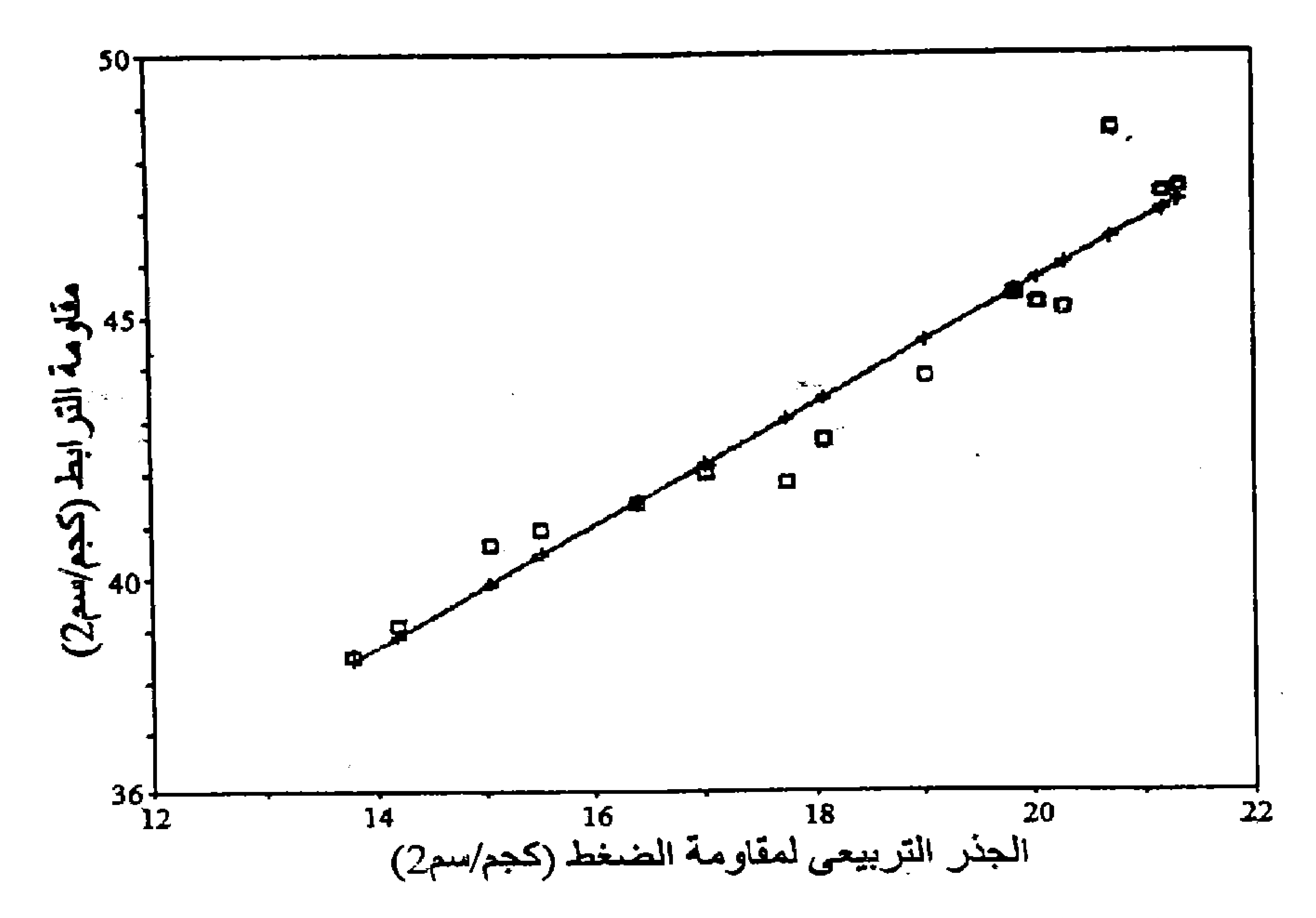




شروخ الانفصال للناتجة من فقد للترابط فى الأسياخ عند للوصلات

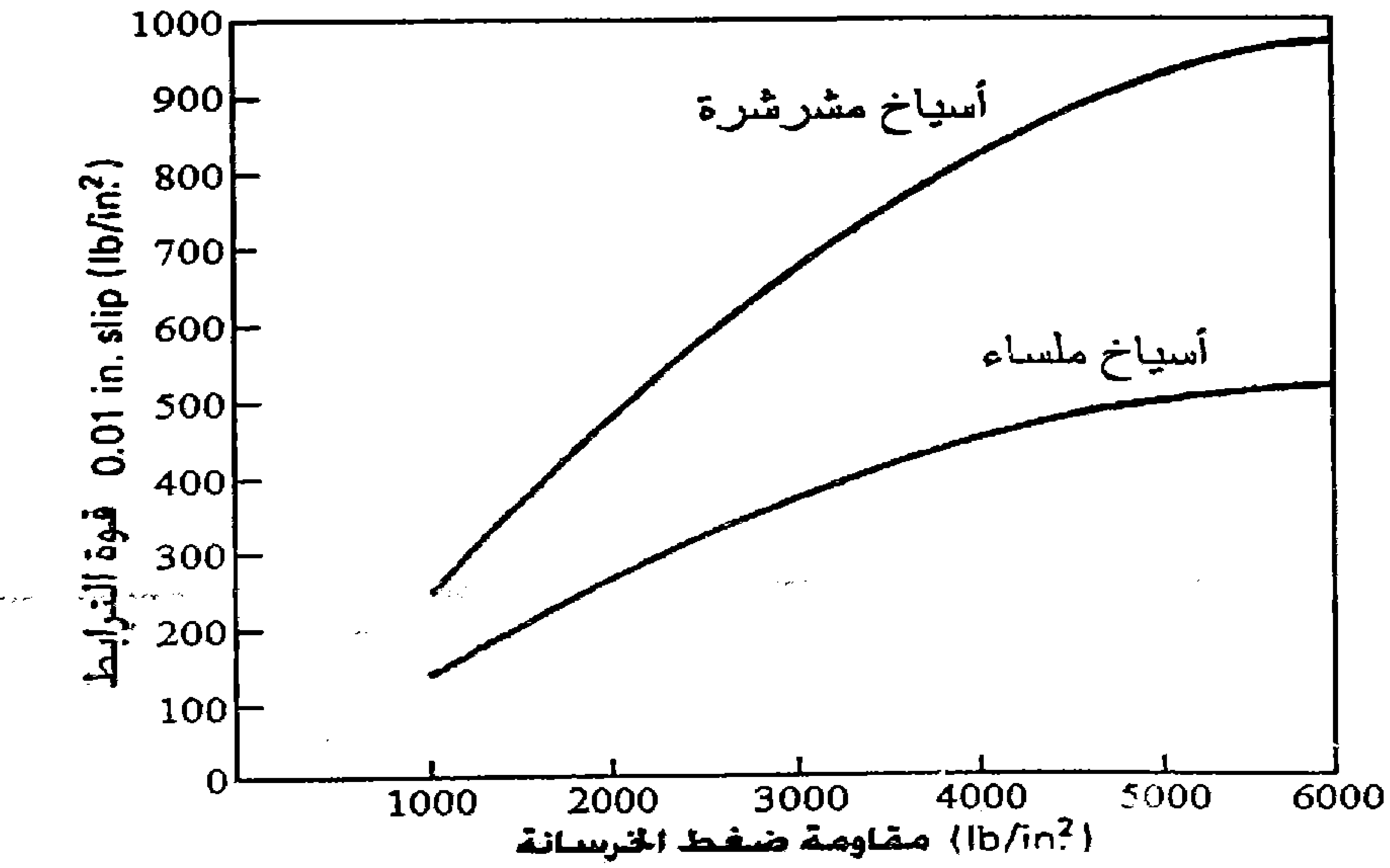
شكل (7ـ17) الشروخ الناشئة عن الانهيار الناتج من إجهادات الترابط

وتعرّف مقاومة الترابط بأنها أقصى إجهاد قص يتولد بين السيخ والخرسانة ويحدث عنده انهيار. وتتوقف مقاومة الترابط على مقاومة الضغط للخرسانة، حيث أنه كلما زادت مقاومة الضغط تتحسن مقاومة الترابط، انظر شكل(7ـ18).

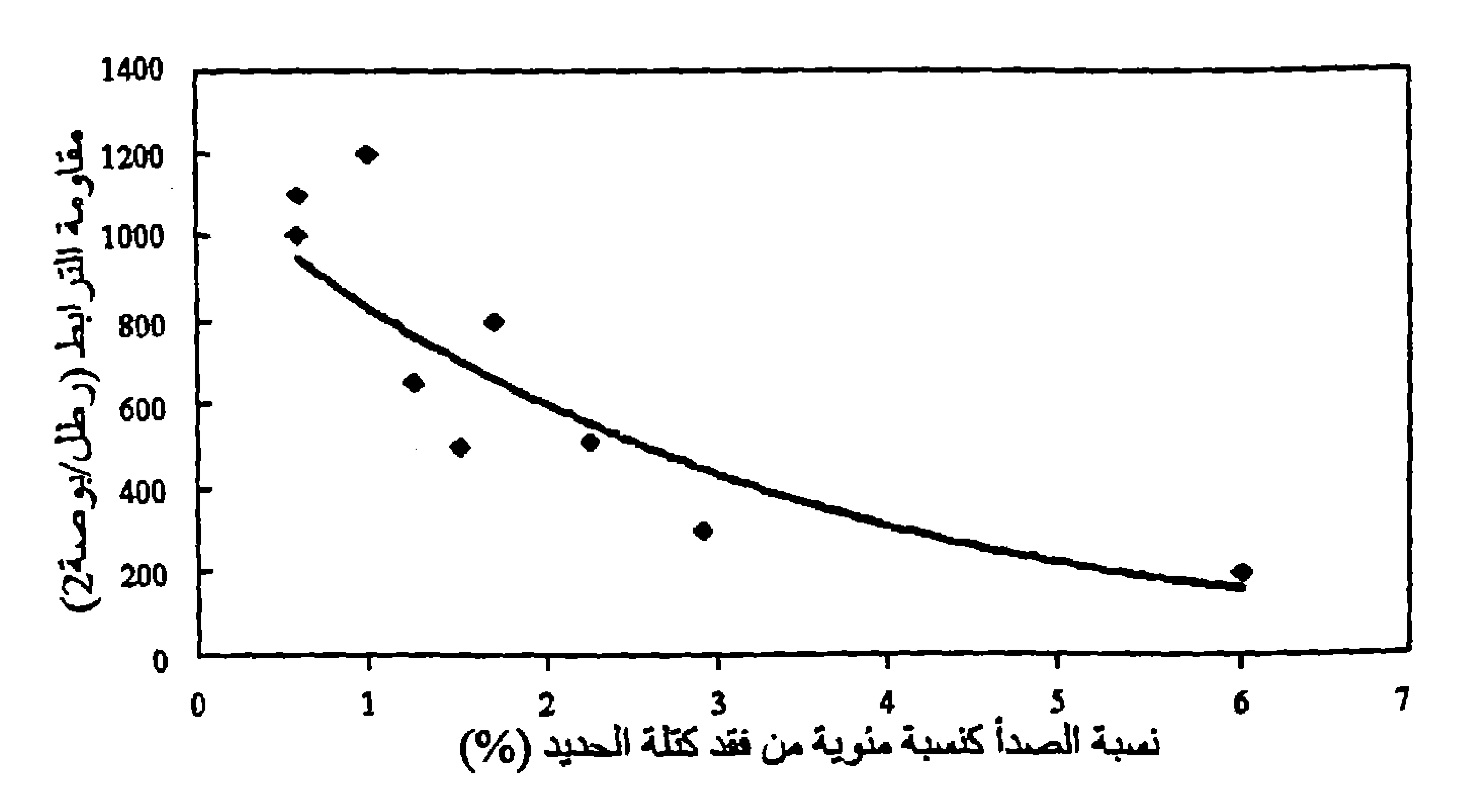


شكل (7ـ18) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الترابط بين صلب التسليح والخرسانة

وتتوقف تلك المقاومة على شكل سطح الأسياخ الخارجى، هل السيخ أملس أم ذو نتوءات، حيث تتحسن مقاومة الترابط كثيراً بوجود النتوءات على سطح السيخ، انظر شكل (7ـ19)، و يجب أن تكون النتوءات قياسية من جهة عددها فى المتر الطولى وزاويتها ... الـخ. ومـن العوامل المهمة فى تخفيض مقاومة الترابط هو تعرض صلب التسليح للصدأ، حيث أنه بزيادة كمية الصدأ تحدث شروخ وتفتت فى الخرسانة حول الأسياخ مما يقلل من مقاومـة التـرابط، انظر شكل (7ـ20). وجدول (7ـ3) يوضح مقاومة الترابط المستخدمة بالكود البريطانى.



شكل (7ـ19) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الترابط لأسياخ ملساء وأسياخ ذات نتوءات



شكل (7ـ20) تأثير نسبة الصدأ على مقاومة الترابط

جدول (7ـ3) قيم مقاومة الترابط للأسياخ كدالة من مقاومة الضغط (ن/مم²)

مقاومة الضغط ن/مم²	20	25	30	40
تسليح أملس	1.7	2.0	2.2	2.7
تسليح ذو نتوءات	2.1	2.5	2.8	3.4

ويجب على المهندسين حساب طول الترابط (L_d) لأسياخ التسليح بحيث نتجنب حدوث انهيار فى الأعضاء الخرسانية، نتيجة فقد الترابط قبل الوصول لأقصى عزم يتحمله القطاع فى الانحناء.

يوصى الكود المصرى بحساب مقاومة الترابط (f_{bu}) من المعادلة:

$$f_{bu} = 0.3\sqrt{\frac{f_{cu}}{\propto_c}}\,N/mm^2$$

معامل خفض المقاومة $\propto c = 1.5$

ويحسب طول الترابط للأسياخ من المعادلة:

$$Ld = \frac{\propto .\beta .\sigma \left(\frac{f_y}{\propto s}\right)}{4\, f_{bu}}.\Phi$$

حيث

← Φ = قطر السيخ

← $\propto$ معامل تصحيح يعتمد على شكل طرف السيخ (يتراوح من 0.50 إلى 1.00).

← β معامل يتوقف على نوع السيخ.

← σ معامل يتوقف على موقع السيخ (فى حالة الأسياخ ذات النتوءات = 0.45 ، 0.75 فى الضغط والشد على الترتيب للأسياخ الأفقية المعرضة للشد والتى يزيد سمك الخرسانة المصبوبة أسفلها عن 300 مم).

← σ = 1.00 للحالات الأخرى لوضع الأسياخ، وقيم $\propto$، β موجودة فى الكود المصرى.

ومن المهم جداً أن يقوم المهندس بتنظيف أسياخ التسليح من الأتربة والزيوت قبل الصب مباشرة. ومن المهم التأكيد على أنه لا يوجد اختبار قياسى لتحديد مقاومة الترابط. وتوجد اختبارات لتحديد المقاومة التقريبية مثل اختبار Pull–Out–test الذى سيذكر فى اختبارات الخرسانة المتصلدة.

7ـ6 ميكانيكا التصدع (Fracture Mechanics):

7ـ6ـ1 منحنى مور للانهيار (Mohr's Failure Criterion):

استخدم والتر منحنى على هيئة قطع مكافئ ليمثل منحنى مور لانهيار الخرسانة. وقد افترض أن نسبة مقاومة الشد/مقاومة الضغط $\frac{f_{tu}}{f_{cu}} = \frac{1}{8}$. وشكل (7ـ21) يوضح الإجهادات العمودية وإجهادات القص لنقطة فى المستوى Y, X فى عضو خرسانى. وشكل (7ـ22) يمثل دائرة مور للإجهادات فى الاتجاهات المختلفة لهذه النقطة. أما شكل (7ـ23) فيوضح دائرة مور للانهيار لخرسانة مقاومتها فى الشد والضغط f_{cu}, f_{tu}.

وقام والتر بوضع المعادلة التالية لهذا المنحنى:

$$q^2 = \frac{1}{2} f_{cu} - \frac{1}{16} f_{tu}^{\ 2} = 0.0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7\text{—}1)$$

حيث q ، f عبارة عن إجهاد القص والإجهاد العمودى لنقطة على منحنى مور.
ويمكن التعبير عن معادلة الإجهاد العامة كما يلى:

$$f^2 + q^2 - (f_x + f_y) f + f_y f_x - q_{xy}^{\ 2} = 0.0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7\text{—}2)$$

حيث f_x، f_y، q_{xy} مركبات الإجهاد للعضو dxdy فى الجسم الواقع فى الإحداثيات XY. أشار مور أنه لكى يحدث انهيار فإن دائرة الإجهادات العامة يجب أن تمس منحنى مور للانهيار.

حل والتر المعادلتين (7ـ1) و(7ـ2) معاً. وفى حالة f_y=0.0 توصل لمنحنى الانهيار الممثل بالمعادلتين (7ـ3) و(7ـ4).

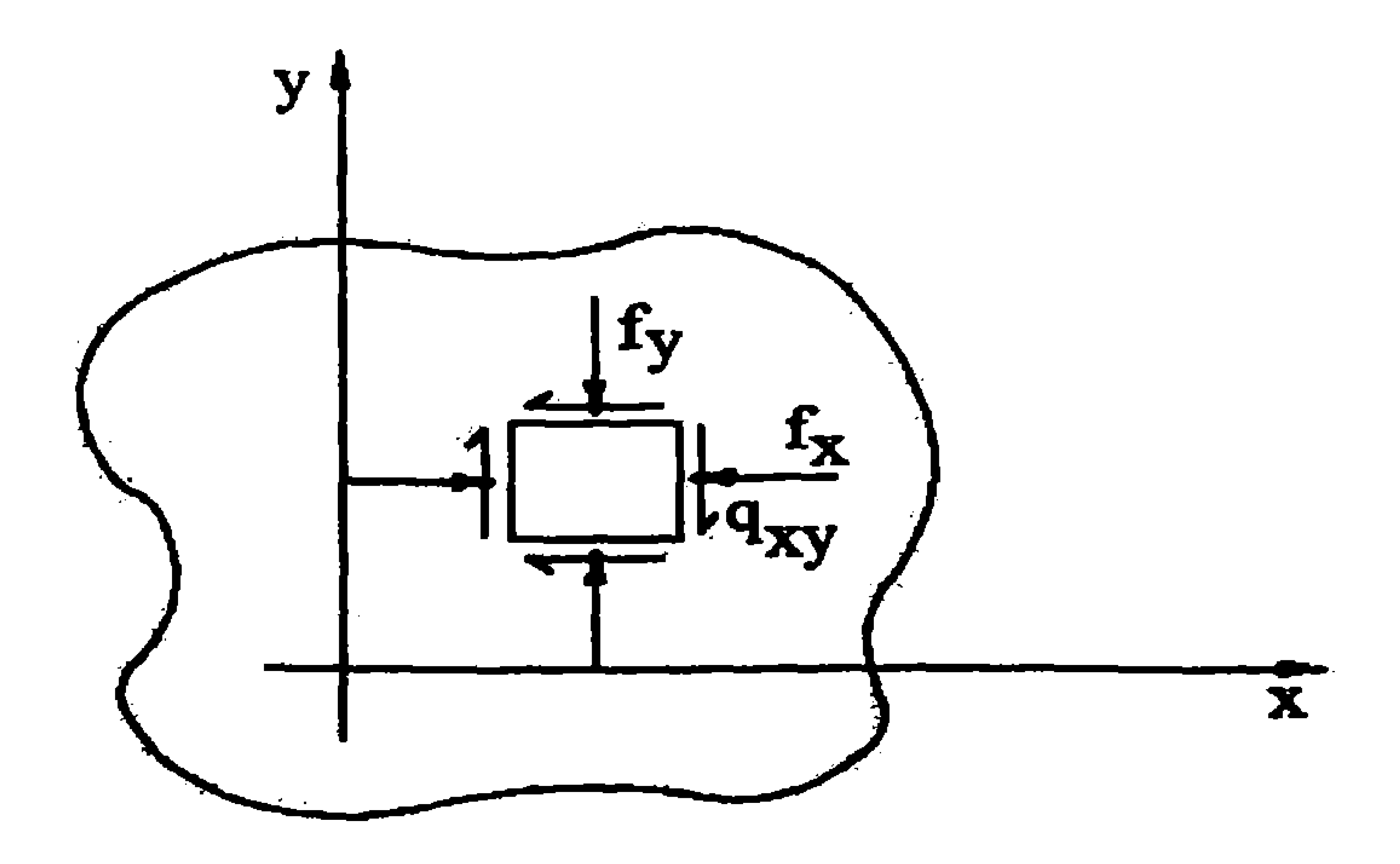
(وذلك فى حالة $\frac{fx}{fcu} > 0.25$) ....(7ـ3)

$$\left(\frac{f_x}{f_{cu}}\right)^2 - \left(\frac{f_x}{f_{cu}}\right) + \left(\frac{2q_{xy}}{f_{cu}}\right)^2 = 0.0$$

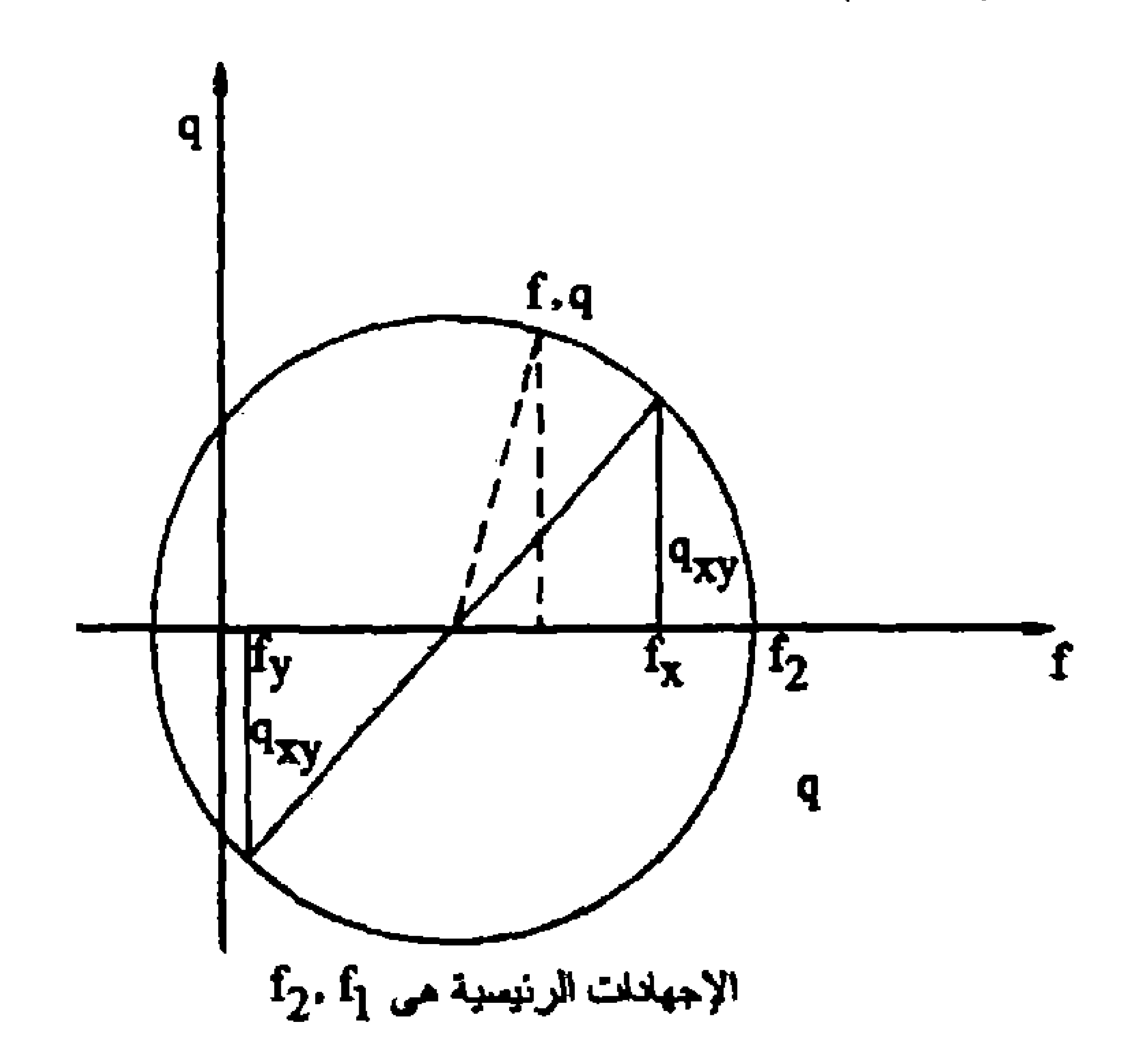
$$\left(\frac{8qxy}{f_{cu}}\right)^2 - \left(\frac{8f_x}{f_{cu}}\right) - 1 = 0.0$$

(ذلك فى حالة $\frac{fx}{fcu} < 0.25$) ....(7ـ4)

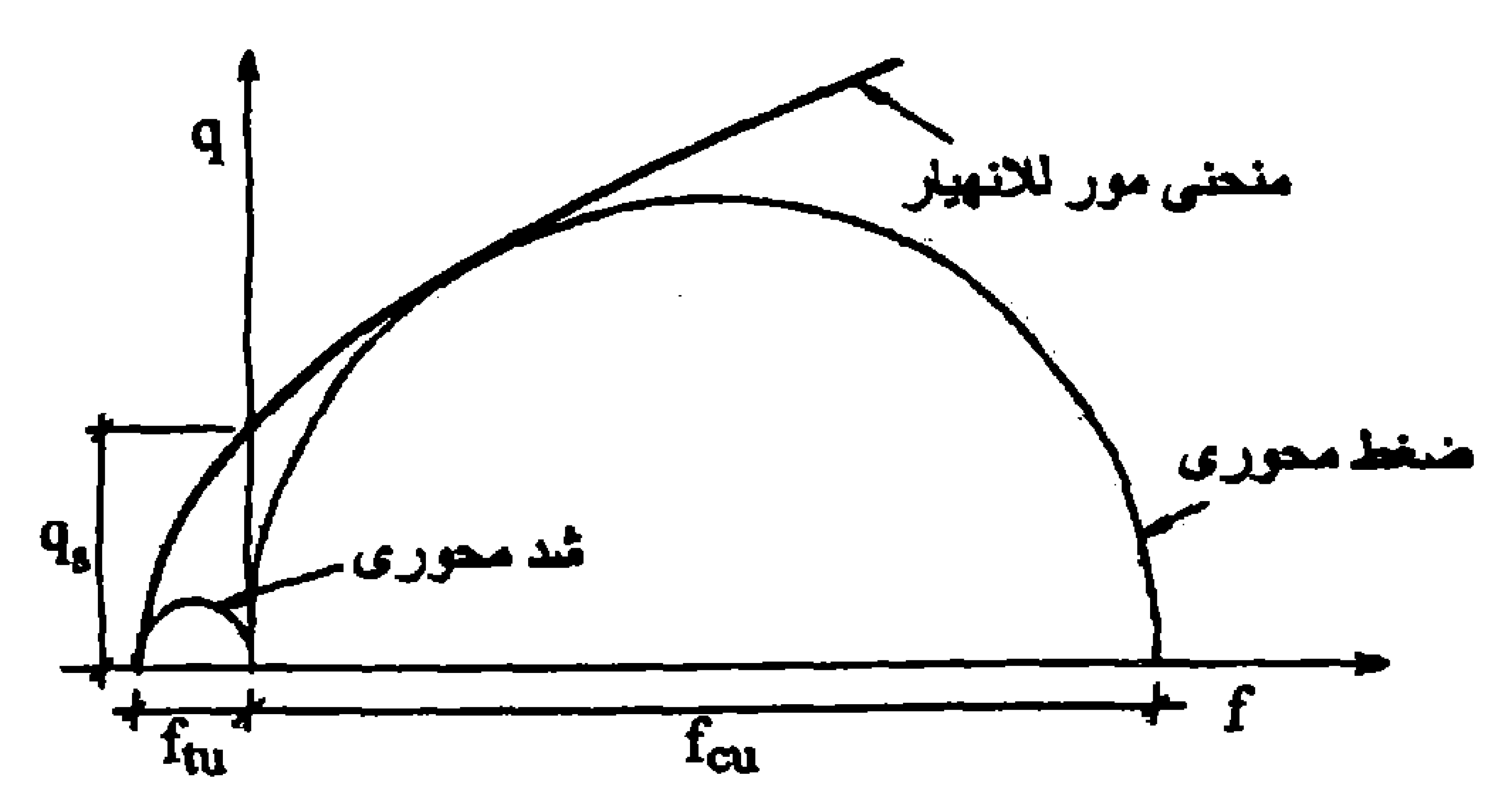
ومنحنى الانهيار ذلك موضح فى شكل (7ـ24)، وفيه الإجهادات منسوبة لمقاومة الضغط، ويمكن بمعرفة الإجهاد العمودى الواقع على الخرسانة توقع إجهاد القص الذى سيؤدى إلى الانهيار ومن هنا يمكن للمهندس التعرف على مقاومة الخرسانة للقص.



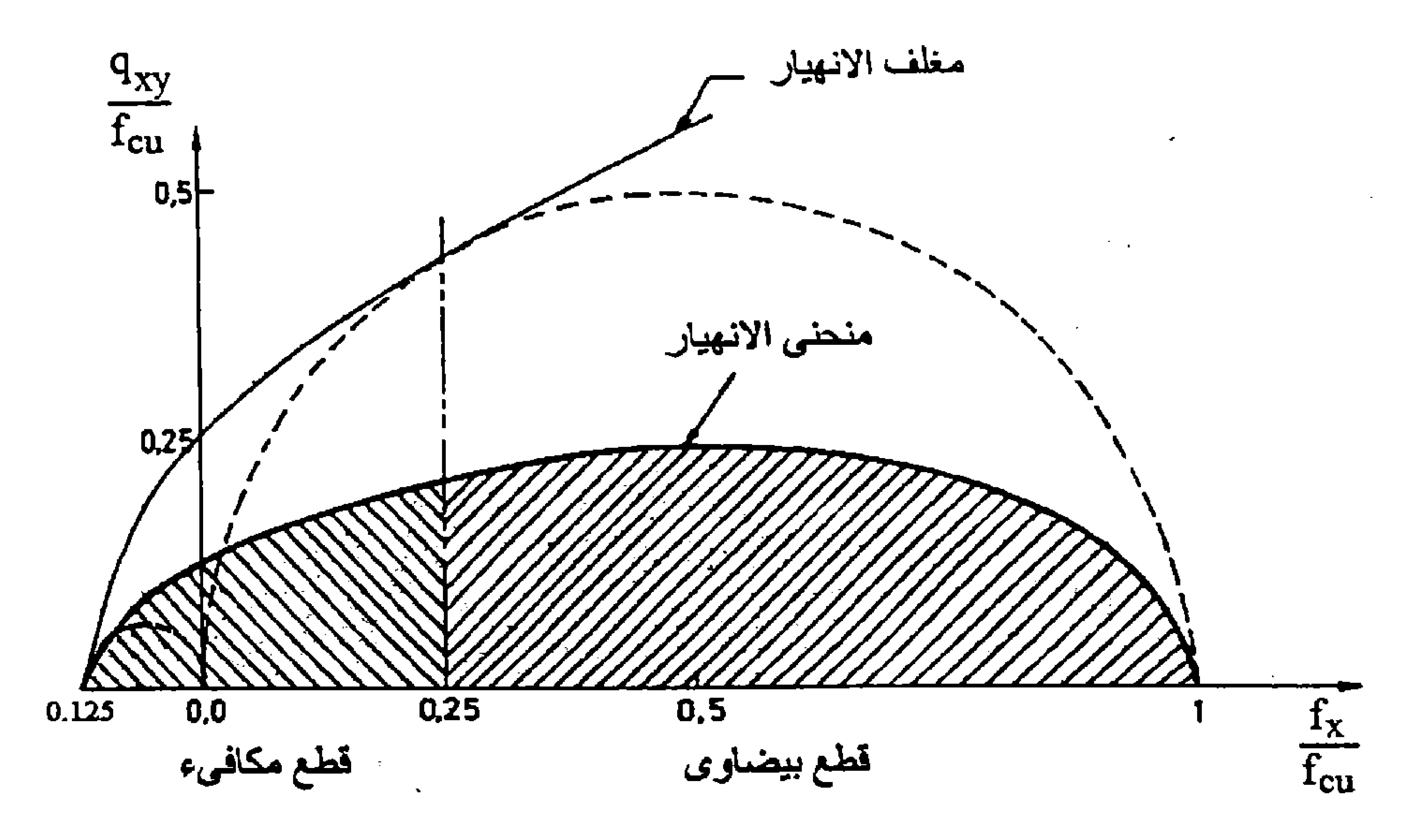
شكل (7ـ21) الإجهادات المؤثرة على عنصر خرسانى



شكل (7ـ22) دائرة مور للإجهادات



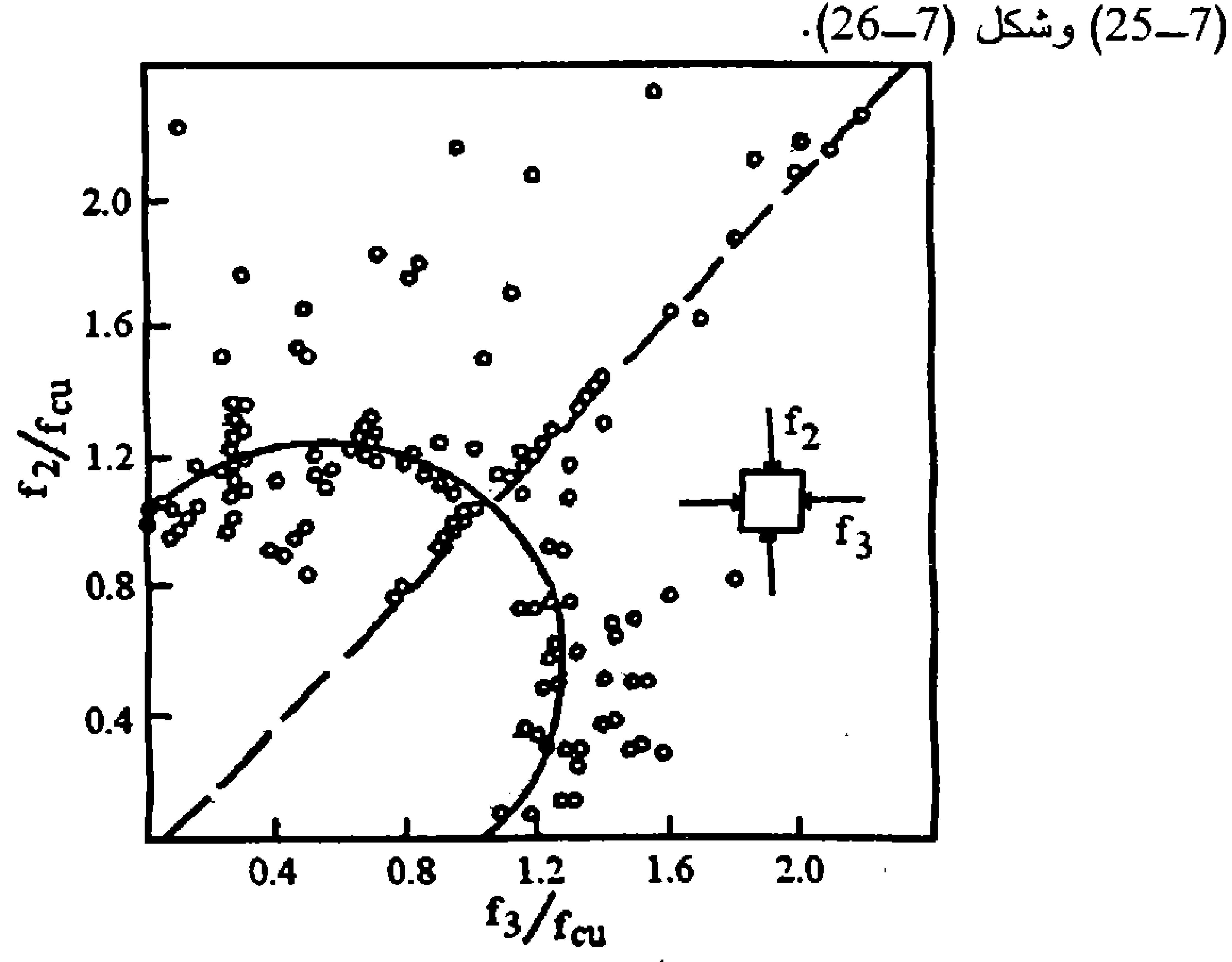
شكل (7ـ23) منحنى مور المغلف للانهيار



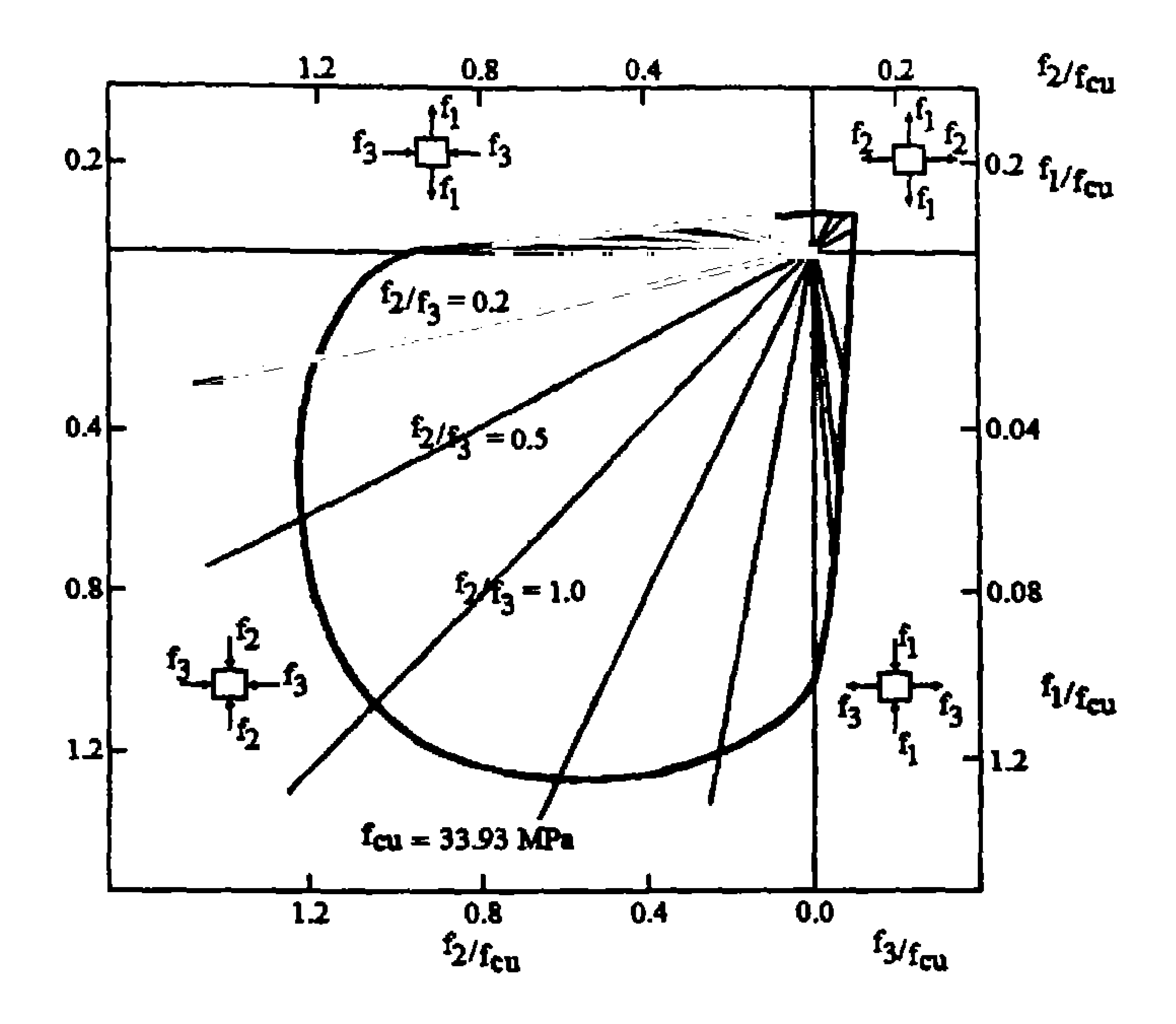
شكل (7ـ24) منحنى والتر للانهيار

7ـ6ـ2 تأثير حالة الضغط الثنائى المحوري على مقاومة الضغط:
(Biaxial Compression Strength):

لكى يمكننا متابعة تأثير الضغط الثانى على مقاومة الضغط، فإننا يجب أن نتذكر أن الإجهادات الرئيسية هى f_1, f_2, f_3، بحيث تكون $f_3 < f_2 < f_1$. والانفعالات الرئيسية المناظرة هى ζ_1، ζ_2، ζ_3 وقد توصّل إبراهام وآخرون إلى أن مقاومة الضغط تتحسن فى وجود الضغط الجانبى. وتصل الزيادة فى مقاومة الضغط لحوالى 22 % وذلك لنسبة $\frac{f_1}{f_2} = 0.50$، انظر شكلى (7ـ25) وشكل (7ـ26).



شكل (7ـ25) تأثير الضغط الجانبى على مقاومة الضغط



شكل (7ــ26) تأثير حالات التحميل الثنائى على مقاومة الخرسانة

7ــ6ــ3 تأثير وجود شد جانبى على مقاومة الضغط:
(Biaxial Compression Tension Strength):

قد تتعرض الخرسانة بجانب إجهادات الضغط الراسى إلى إجهادات شد فى الاتجاه الأخر. وفى تلك الحالة أثبتت الأبحاث أن كل من مقاومة الضغط وانفعال الضغط يقلان مــع وجــود إجهاد شد عرضى، ويزيد النقص فى مقاومة الضغط والانفعال مع زيادة إجهاد الشد. والنتيجة السابقة يمكن متابعتها بوضوح من شكلى (7ــ27) و(7ــ28)، حيث يقــل إجهــاد الــضغط الرئيسى f_3 إذا ما قورن بمقاومة الضغط فى حالة عدم وجود إجهاد شد عرضى (f_o). ومــن الملاحظ نقــص انفعال الضغط عند الانهيار من 300×10^{-5}سم/سم إلــى حــوالى 80×10^{-5} سم/سم.

وفيما يخص شكل الانهيار فسيتم تناوله فى الباب العاشر.

f_{to} = 3.09 MPa

ε_1 ε_2 ε_3

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ε_3

ε_1 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$

f_1/f_{to}

1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2

f_1 f_2

$f_1 > f_2 > f_3 = 0.0$

f_1/f_2 =

∞

2

1

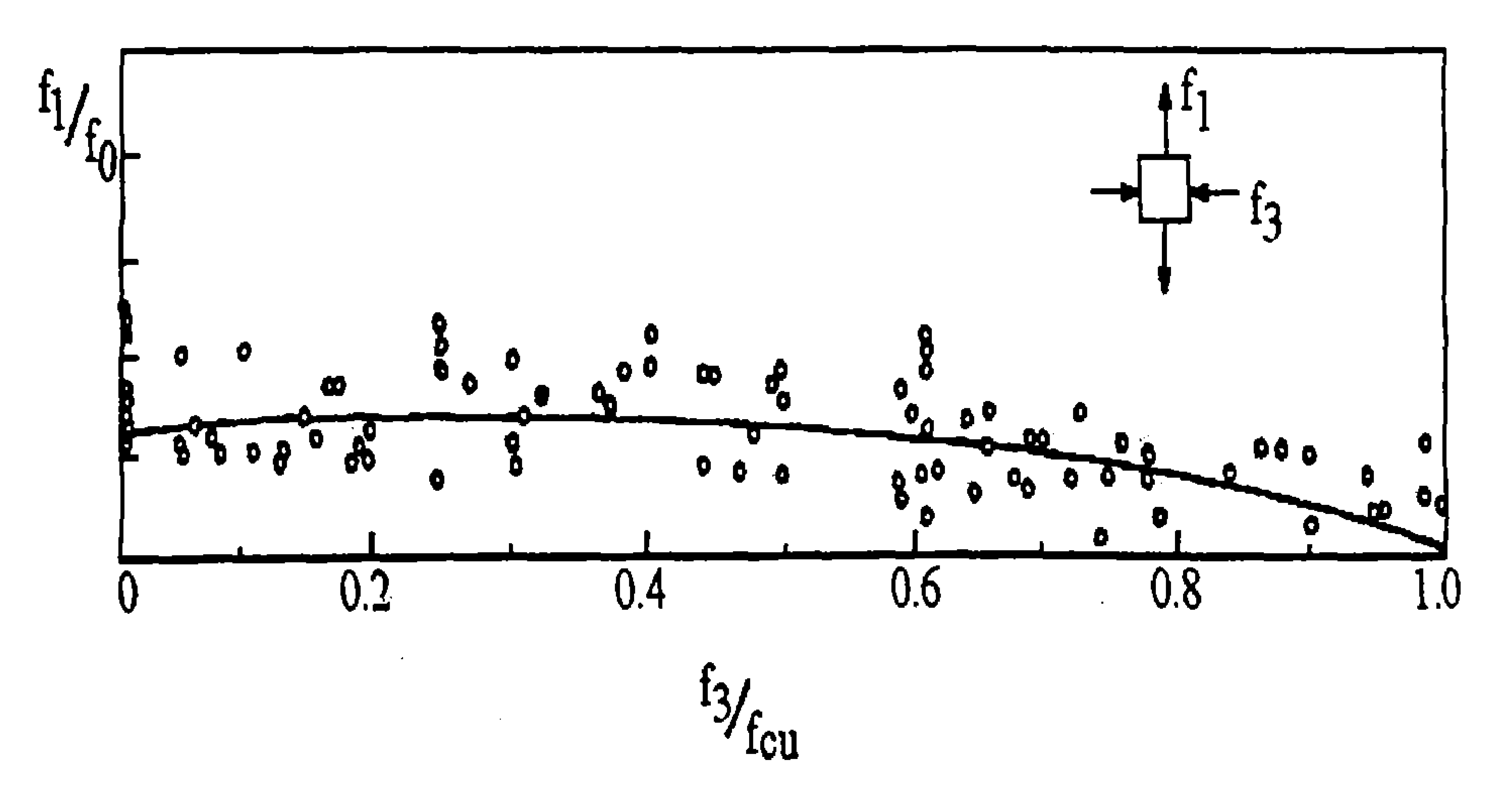
20 15 10 5 0 5

الانفعال x 10^5

(شد) (ضغط)

f_{to} = مقاومة الشد المحورى

شكل (7ــ27) تأثير إجهاد الشد العرضى على مقاومة الضغط والانفعال



شكل (7ــ28) تأثير إجهاد الشد العرضى

الباب الثامن
إضافات الخرسانة (Admixtures for Concrete)

8ـ1 عام

هى مواد تضاف بكميات صغيره ، أو كبيره للخرسانه عند خلطها ، أو تضاف للأسـمنت فى المصانع كجزء إحلالى من الأسمنت ، وذلك لإكساب الخرسانه خاصية معينـه . وهـذه المواد قد تعجل أو تؤجل شك الخرسانه ، وقد تحسن من تشغيليتها أو تقلل نفاذيتها أو تكسبها مقاومة جيده للصدأ .... إلخ .

وسنتناول فيما يلى تقسيم الإضافات والتى تشمل : الإضافات المسببه للهـواء المحبـوس والإضافات الكيميائية والإضافات المعدنية وخواصها وتأثيرها على الخرسانه .

8ـ2 الإضافات المسببه للهـواء المحبـوس . Air-Entraining Agent (ASTM C260)

وهذه الإضافات تضاف للخرسانه لإيجاد فقاعات هواء محبوس فى الخرسانه ، تكون دقيقه جداً ، وتكون نظام يسمح بتقليل الإجهادات الناشئه عن دورات تكون الثلج وذوبانه ، وتتراوح نسبة الهواء المحبوس للخرسانه فى المتوسط بين 4.5 ، 6.5 % ، وتصل لـ 9 % للمونه . وتصنع تلك المواد كمنتجات ثانويه by-products من بعض الـصناعات الأخـرى مثـل صناعة الورق والبترول وشحوم الحيوانات . ويؤثر معامل تقسيط الفقاعات الهوائية ، والذى يتراوح بين 0.18 إلى 0.30 مم على تحملية الخرسانه واستخدام تلك المواد يحسن من تحملية الخرسانة للصقيع ويقل الفقد فى مقاومة الخرسانه نتيجة التعرض لدورات الصقيع .

8ـ3 الإضافات الكيميائية : Chemical Admixture

8ـ3ـ1 عـام :

وهى إضافات أساسها كيميائى تضاف للخرسانه عند الخلط كنسبه صغيره من وزن الأسمنت (0.20 ـ 3.5 %) ، وهذه النسبه تتوقف أساساً على نوع الماده وأساسها الكيميائى ، وهذه الإضافه تكسب الخرسانه سمات معينه ، وهى تنتج غالباً على هيئة سائل وأحياناً على هيئـة مسحوق ، وتوجد عدة تقسيمات للإضافات للهيئات الدوليه المختلفه العامله فى هذا المجال ، وسنذكر فى مايلى بعض التعريفات .

8-3-1-1 الجرعه : Does

وهى كمية الإضافه وفى أغلب الأحوال تضاف كنسبه وزنية من وزن الأسمنت ، أو كإضافه باللتر للمتر المكعب من الخرسانه .

8-3-1-2 الأساس الكيميائيه : Chemical Base

وهى الماده الكيميائيه التى يشتق منها الإضافه .

8-3-2 تقسيم الإضافات الكيميائية طبقاً للـ ASTM

Classification of Chemical Admixtures According ASTM C494

أ ـ الإضافات المقلله لماء الخلط (A).

Type (A) Water reducing admixtures

وبناء على الكود الألمانى واليابانى يطلق عليها Plasticizer أى المواد الملدنه .

ب ـ الإضافات المؤجله للشك (B). Type (B) Retarding Admixtures

ج ـ الإضافات المعجله (C). Type (C) Accelerating Admixtures

د ـ الإضافات المقلله للماء والمؤجله للشك (D) .

Type (D) Water reducing and Retarding Admixtures

هـ ـ الإضافات المقلله للماء والمعجله للشك (E)

Type (E) Water reducing and Accelerating Admixtures

و ـ الإضافات عالية التخفيض للماء (F) ويطلق عليها فى الكود الألمانى واليابانى بمواد عالية التلدينSuper Plasticizer

-Type (F) High range water reducing admixture .

ز ـ المواد عالية التخفيض للماء المؤجله للشك (G) .

- Type (G) High range water reducing and retarding admixtures .

8 -3-2-1 الإضافات المقلله للماء : Water reducing admixtures

وهى مواد عند إضافتها للخرسانة تحسن من تشغيليتها وتزيد من لدونتها .

1ـ الأساس الكيميائى :

تشتق تلك المواد من مواد متعدده ومنها :

ـ أحماض اللجنو سلفو ألومينات وأملاحها Ligno Sulfonic acids and their salts

ـ أحماض الهيدروكسيلاتد كربوكسلك وأملاحها .

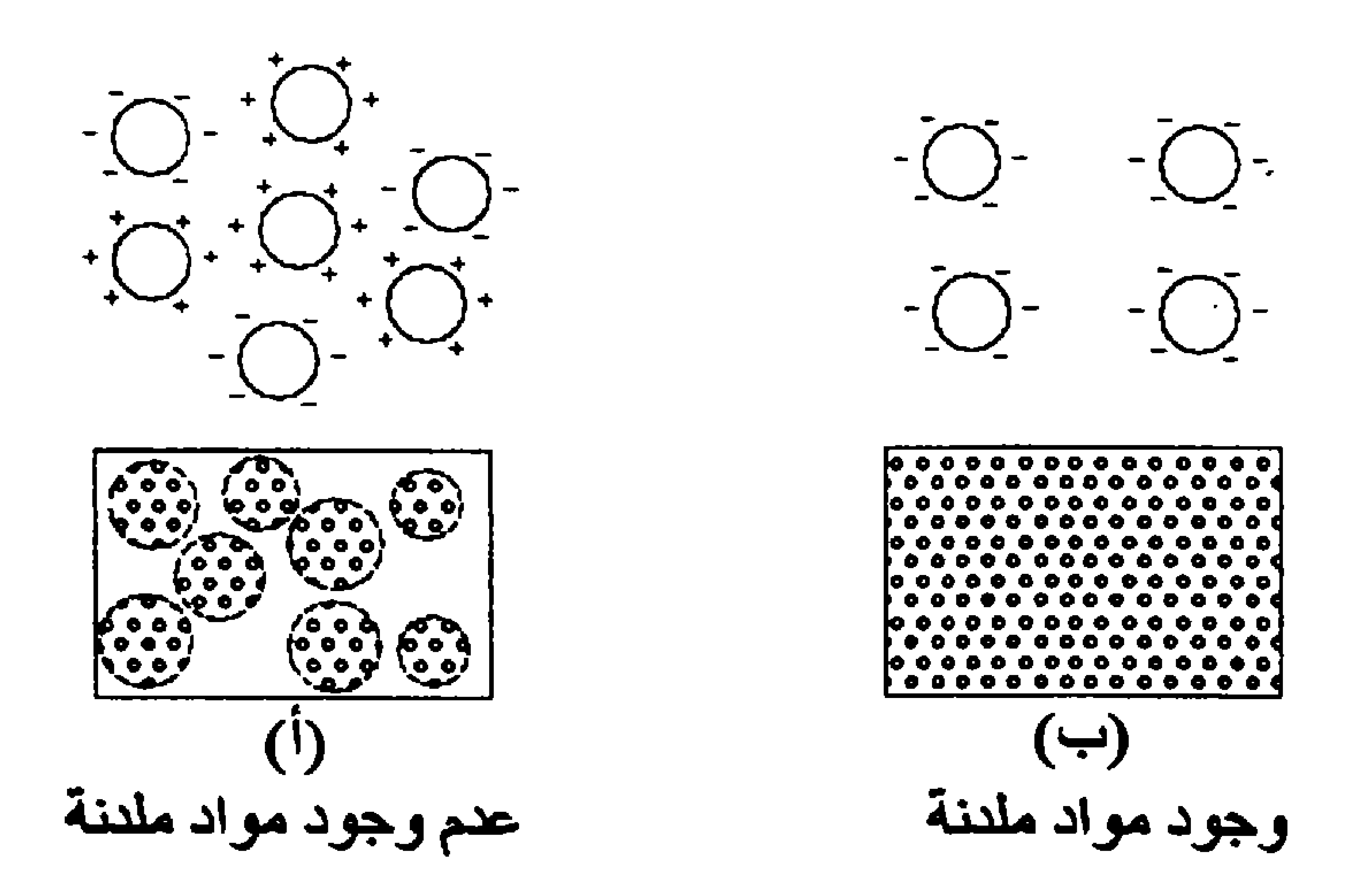
Hydroxylated carboxylic acids and their salts.

2 ـ طريقة العمل :

عند خلط الخرسانه ، وبها تلك الماده فإن تلك الماده يتم إمتصاصها بواسطة المواد الناعمه مثل حبيبات الأسمنت ، وتتولد شحنات كهربيه سالبه على حبيبات الأسمنت ، وتتنافر حبيبات الأسمنت داخل الخرسانه ، وتصير حبيبات الماء حره لتستخدم أغلبها فى الفتره الأولى فى تحسين التشغيليه انظر شكل (8ـ1) الذى يوضح تحسين انتشار الأسمنت نتيجة الشحنات السالبة.

3 ـ الجرعة (Dose):

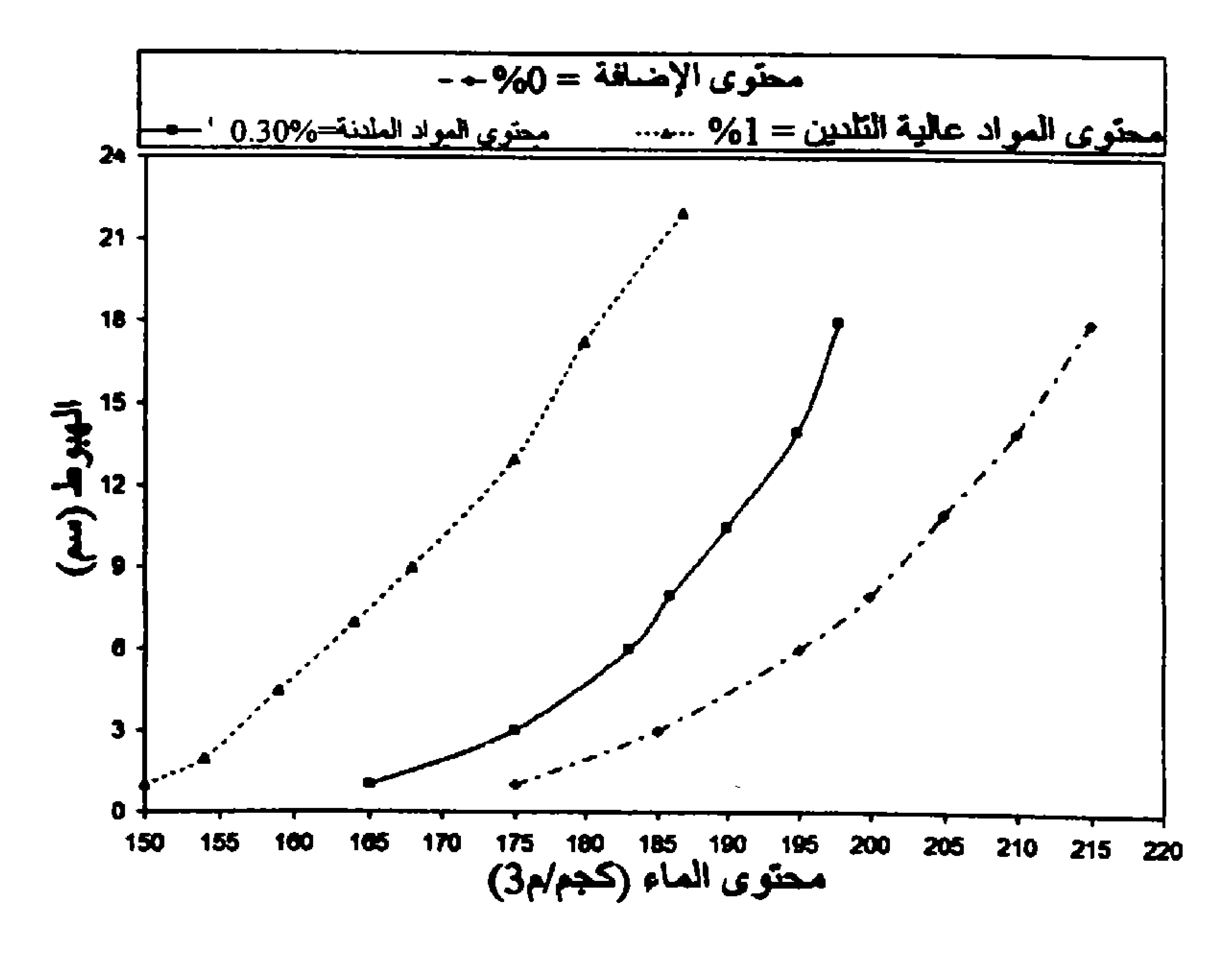
تتميز المواد الملدنه بصغر جرعتها حيث تتراوح بين 0.2 الى 0.50 % من وزن الأسمنت (فى حدود 2 لتر / متر مكعب خرسانه) ويفضل أن تضاف الماده مع ماء الخلط أو إضافة ماء الخلط مباشرة فى الخلاطه الوزنيه يليها الإضافه ، ويجب التنبيه على أن لاتستخدم جرعات إضافيه Re-dose ، والا فلن تشك الخرسانه.



شكل (8ـ1) تأثير المواد الملدنة على الانتشار الجيد لحبيبات الأسمنت

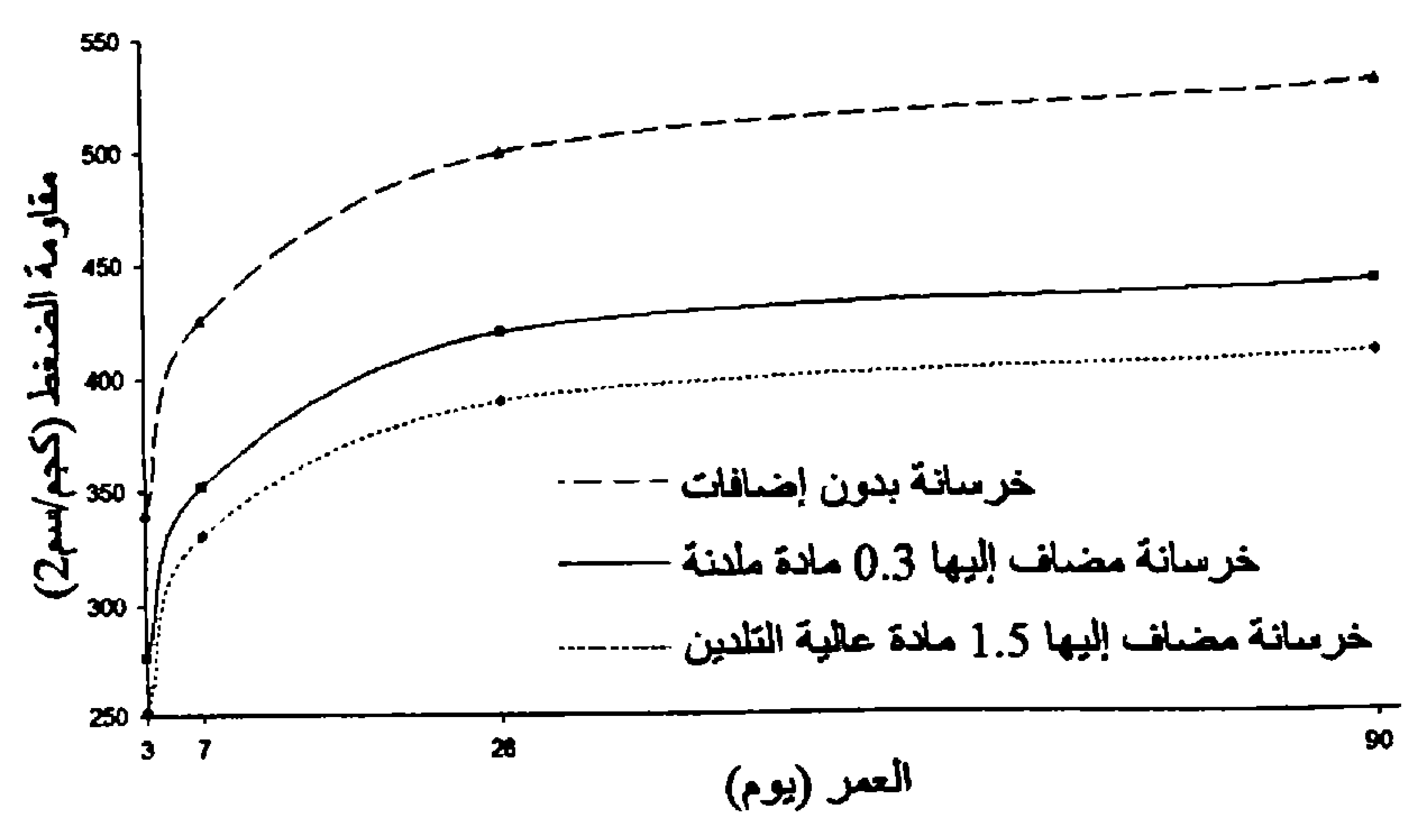
4 ـ تأثير الإضافات الملدنه على خواص الخرسانة :
Effect of Plasticizers on concrete properties:

ـ شكل (8ـ2) يوضح العلاقه بين محتوى الماء فى المتر المكعب للخرسانه والهبوط للخرسانه الطازجه سواء لخرسانة بدون إضافات وخرسانه مضاف اليها مواد ملدنه أو مواد عالية التلدين.



شكل (8ـ2) العلاقه بين محتوى الماء والهبوط فى حالة الخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين

ـ عند نفس محتوى الماء يلاحظ أن إضافة الماده الملدنه تزيد من الهبوط أى تحسن التشغيليه
ـ لإنتاج خرسانه لها نفس الهبوط فإن إستخدام تلك المواد يسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 5 ، 10 % وبالتالى تسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت .
ـ للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن الخرسانه التى بها مواد ملدنه تحقق مقاومة ضغط أعلى من المقاومة التى تحققها نفس الخرسانه بدون إضافات، انظر شكل (8ـ3) وهذا يعوض الى ان استخدام تلك المواد يقلل نسبة W/C .



شكل (8ـ3) العلاقه بين العمر ومقاومة الخرسانة لنفس الهبوط للخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين

ـ بعض الأنواع من تلك الإضافات إستخدامه قد يؤجل من شك الخرسانة .

ـ للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن إستخدام تلك المواد لايؤثر تقريباً على إنكماش أو زحف الخرسانه أو قد يزيدهما قليلاً .

8-3-2-2 الإضافات عالية التلدين Super plasticizers

وهى مواد عند إضافتها للخرسانه تحسن التشغيليه بدرجه كبيره .

1 ـ الأساس الكيميائى :
تشتق تلك المواد من مواد متعدده منها :

- Sulfonated melamine formaldehyde condensates .
- Sulfonated naphthalene formaldehyde .
- Modified legns sulfonic polymers .
- Sulfonic acid esters .

2ـ طريقة العمل : Mechanism
تتشابه طريقة العمل مع طريقة عمل المواد الملدنه ولكن الشحنات المتولده تكون أقوى لذلك فإن كفائتها أفضل .

3 ـــ الجرعة : Does

تعتمد الجرعه على الأساس الكيميائى ففى حالة الفورمالديهيدات أو الميالمين والنافتـــالين تكون الجرعات عاليه حيث تبدأ من حوالى 0.8 % وقد تصل الى 3% من وزن الأســمنت وفى حالة البوليمرات المشتقه من اللجنوسلفو ألومينات أو أحمـــاض الأســترات فيفـضل أن لاتزيد الجرعه عن 2 % وفى حالة الأسمنتات التى بها نسبة C3A منخفضه مثل الأســمنت المقاوم للكبريتات أو الأسمنت المعدل فيفضل تخفيض الجرعة القصوى عن مايوصـــى بـــه المنتج .

وبالنسبة لهذا النوع من الإضافات فيمكن إضافة الجرعه على عدة مراحل خـــلال نقـــل الخرسانة (Use of Redoes) إذا كانت مسافة النقل طويله .

4 ـــ تأثير الإضافات عالية التلدين : Effect of super plasticizers

ـــ كما هو موضح بشكل (8ـــ2) فإن إضافة المواد عالية التلدين تحسن التشغيليه بدرجه كبيره ولذلك يمكن إنتاج خرسانه عالية التشغيليه ذات هبوط 20 سم ويمكن إنتاج خرســـانه ذاتيـــة الدمك وخرسانة قابلة للضخ .

ـــ عند إنتاج خرسانة لها نفس هبوط الخرسانه بدون إضافات فإن إستخدام تلك المواد يـسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 12 ، 25 % وبالتالى تقل نسبة الماء للأسمنت

ـــ إضافة المواد عالية التلدين يزيد من الهبوط وتحسن التشغيليه كثيراً .

ـــ حيث أن تلك المواد لزوجتها عاليه فإنها تقلل إحتمال حدوث النزيف أو الإنفصال .

ـــ بعض المواد قد تزيد من زمن الشك .

ـــ إستخدام تلك المواد يسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت لـــذلك تتحـــسن مقاومـــة ضـــغط الخرسانه وخاصة فى الأعمار المبكره(انظر شكل 8−3) .

ـــ تخفيض نسبة الماء للأسمنت يسمح بتحسن تحملية الخرسانه .

ـــ إستخدام جرعات عاليه يزيد من الإنكماش .

8 − 3 −2 −3 الإضافات المؤجله : Retarding Admixtures

وهى إضافات تضاف للخرسانه لتأجيل زمن الشك الإبتدائى والنهائى .

1ـــ الأساس الكيميائى :

توجد مواد متعدده منها .

ـــ الجلوكوز ومشتقاته

ـــ أحماض الهيدروكربوكسيلك وأملاحها .

ـــ أحماض اللجنوسلفونات وأملاحها .

2 ـــ طريقة العمل :

عند إضافة تلك المواد للخرسانه فإن أغلبها يؤجل تفاعل C3S (سليكات ثلاثى الكالسيوم) الموجوده فى الأسمنت مع الماء وبالتالى يزيد زمن الشك وقليل من تلك المواد تؤجـــل مـــن تفاعل C3A والجبس مع الماء ومن هذا يتضح أن تلك المـــواد تؤجـــل ظهـــور C-S-H اوالمونوسلفوألومينات . ولذلك يجب الحرص على عدم زيادة جرعات تلك المـــواد وإلا فلـــن تشك الخرسانه ويجب الحذر فى إستخدام تلك المواد بحيث تستخدم بجرعات صغيره فى حالة إستخدام أسمنت مقاوم للكبريتات أو أسمنت من النوع الثانى TYPE II طبقاً للـــ ASTM .

3 ـ الجرعه :
يفضل أن لاتزيد الجرعه عن مايوصى به منتج الماده وغالبا ما تكون تلك الجرعة في حدود 2 لتر حتي محتوي اسمنت 400 كجم / متر مكعب .

4 ـ تأثير الإضافات المؤجله للشك : Effect of Retarding admixtures

ـ زيادة زمن الشك الإبتدائى والنهائى بمدة ساعه على الأقل .
ـ تقلل من المقاومة المبكره عند عمر يوم وثلاثة أيام وقد تقلل مقاومة السبعة أيام وعموماً يجب أن لايزيد النقص فى المقاومة عن 10 % عند مقارنتها بمقاومة الخرسانه بدون مؤجلات .
ـ إستخدام تلك المواد يزيد من معدل الإنكماش والزحف الأولى لكن تأثيره قليل للقيم القصوى للإنكماش والزحف .

5 ـ الإستخدام : Use

ـ تستخدم عند نقل الخرسانة لمسافات طويله .
ـ تستخدم فى الجو الحار .
ـ تستخدم لصب الخرسانه فى الأساسات العميقه والخوازيق وفى صب الخرسانه ذات السمك الكبير مثل اللبشه (Raft) .

8-3-2-4 الإضافات المعجله : Accelerating Admixtures .

وهى مواد تضاف للخرسانة من أجل اسراع الشك والحصول على مقاومة مبكره لفك الشدات مبكراً .

1 ـ الأساس الكيميائى :
ـ الأملاح الغير عضويه القابله للذوبان فى الماء مثل كلوريد الكالسيوم ، الومينات الكالسيوم والصوديوم وكربونات الكالسيوم ونترات الكالسيوم .

2 ـ طريقة العمل :
هذه المواد تعمل على تعجيل إتحاد C3S مع الماء وكذلك تعجيل إتحاد C3A والجبس مع الماء وبالتالى يقل زمن الشك الإبتدائى والنهائى، ويجب الا يزيد هذا التعجيل عن ساعه مقارنة بالخرسانه بدون إضافات معجله .

3ـ الإستخدام والمحاذير :

ـ يستخدم فى الأجواء البارده .
ـ يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً .
ـ تستخدم فى الخرسانه المقذوفه Shot creet .
ـ يزيد من المقاومة المبكره (يزيد من مقاومة الضغط عند عمر يوم واحد بحوالى 50 %) ولكنه يقلل الأعمار المتأخره (90 يوم) .
ـ تقلل تلك المواد من مقاومة صلب التسليح للصدأ لذلك يحذر من إستخدام تلك الإضافات للخرسانه سابقة الإجهاد إلا إذا كانت خاليه من الكلوريدات ويحظر إستخدامها فى الأجواء الرطبه.

5-2-3-8 . كيفية الحكم على الإضافات الكيميائيه طبقاً للـ ASTM C 494-81 .

للحكم على صلاحية الإضافات يتم الحكم عليها من خلال إختبارات الأدائيه والإختبارات الكيميائيه وسنتناول فى هذا القسم اختبارات الأدائيه .

ــ يتم تنفيذ خلطتين خرسانيتين أحدهما خلطه بدون إضافات كيميائيه وخلطه أخرى مضاف اليها إضافات كيميائيه بحيث يكون محتوى الأسمنت ثابت فى الخلطتين وكذلك الهبوط ويتم تحديد محتوى الماء الذى يحقق نفس الهبوط .

ــ إما أن يتم الحكم على جودة الإضافات بإستخدام خلطه خرسانيه تستخدم فى الموقع بمحتويات معينة وبمحتوي أسمنت محدد يستخدم فى الموقع وبحيث يتم الإحتفاظ بنسبة رمل لركام كبير ثابته ويتم الحكم على الاضافة بناء على نتائج الخلطتين . أو يتم الحكم على الماده طبقاً لخلطه قياسيه توصى به ASTM والتى ستذكر فيما يلى :

ــ يمكن إستخدام الخلطه الخرسانيه التى توصى بها ASTM – C494 والتى تنص على إستخدام رمل قياسى يحقق التدرج التالى :

مقاس المنخل	4	16	50	100
% للمــــار بالوزن	100	75 ــ 65	20 ــ 12	5 ــ 2

*ويتم إستخدام ركام كبير ذو نسب متساويه من المقاس الذى يمر على منخل 1" ويحجز على منخل 4/3 . المقاس الذى يمر من 4/3" ويحجر على 2/1" ، المقاس الذى يمر من منخل 2/1" ويحجر على منخل 8/3" ، المقاس الذى يمر من منخل 8/3" ويحجر على منخل 16/3"

*تستخدم نسبه رمل الى ركام كبير ثابته

*يستخدم محتوى اسمنت 307 $\pm$ 3 كجم/م^3 ويستخدم نوع الأسمنت الموجود بالموقع

*يتم تصميم الخلطه بحيث تحقق هبوط قدره 63 $\pm$ 12 مم لخلطه المقارنـه بدون إضافه وللخلطه المستخدم فيها الإضافه .

ــ تستخدم الإضافه بالجرعه التى يوصى بها المنتج .

ــ يتم خلط الخرسانه قياسياً ويتم قياس الهبوط والهواء المحبوس وزمن الشك الإبتدائى والنهائى للخرسانه ثم يتم صب عينات مقاومة الضغط والإنحناء ويمكن قياس الإنكماش لعينات على هيئة منشور طبقاً للـ ASTM C157 وفى حالة الخرسانه ذات الهواء المحبوس يمكن حساب معامل التحمل بطريقة ASTM C666 والذى يعرض الخرسانه لدورات سريعه من تكون الثلج وذوبانه فى الماء أو للتثلج السريع فى الهواء والذوبان فى الماء .

ــ يحسب محتوى الماء المستخدم فى الخلطتين ونحدد النسبه بين محتوى الماء للخلطه ذات الإضافات ومحتوى الماء لخلطة المقارنه .

ــ يتم الحكم على أدائية الإضافات بناء على نتائج الإختبارات وحدود الـ ASTM الموجوده فى جدول رقم (8-1) .

جدول رقم (8-1) متطلبات الأدائيه :

		النوع A ملدن	النوع B مؤجل	النوع C معجل	النوع D ملدن مؤجل	النوع E ملدن معجل	النوع F عالى التلدين	النوع G عالى التلدين مؤجل
1 ــ الحد الأقصى لمحتــوى المـــاء بالنسبه لخلطة المقارنه %.		95	——	——	95	95	88	88
2ــ زمن الشك الإبتدائى ساعة	تأجيل حد أدنى	——	1.00	——	1.00	——	——	1.00
	تأجيل حد أقصى	1.30	3.30	——	3.30	——	1.30	3.30
	تعجيل حد أدنى	——	——	1.00	——	1.00	——	——
	تعجيل حد أقصى	1.00	——	3.30	——	3.30	1.00	——
3ــ زمن الشك النهائى ساعة	تأجيل حد أدنى	——	——	——	——	——	——	——
	تأجيل حد أقصى	1.30	3.30	——	3.30	——	1.30	3.30
	تعجيل حد أدنى	——	——	1.00	——	1.00	——	——
	تعجيل حد أقصى	1.00	——	——	——	——	1.00	——
% مقاومة الضغط كحد أدنى * من مقاومة ضغط خرسانه التحكم لعمر+ (يوم)	1.00	——	——	——	——	——	140	125
	3	110	90	125	110	125	125	125
	7	110	90	110	110	110	115	115
	28	110	90	100	110	110	110	110
	180	100	90	90	100	100	100	100
	315	100	90	90	100	100	100	100
% لمقاومة * الإنحناء كحد أدنى عند عمر (يوم)	3	100	90	110	100	110	110	110
	7	100	90	100	100	100	100	100
	28	100	90	90	100	100	100	100
% التغير فى الطول كحد أقصى من خلطة التحكم .		135	135	135	135	135	135	135
معامل التحكم النسبى كحد أدنى .		80	80	80	80	80	80	135

+ زمن الشك مذكور بالساعه والدقيقه مثلاً 1.30 معناه ساعه وثلاثون دقيقه .

8-3-3 الإضافات المعدنية : Mineral Admixture

وهى مواد ناعمه جداً تضاف للخرسانه بمحتوى عالى نسبياً لإكساب الخرسانه ميزه معينه وهذه المواد تنقسم من جهة الخامه الى :

ــ غبار سليكا، رماد طائر Fly ash ، غبار حرق قــشر الأرز Husk rice ash ، خبــث الأفران المنشط المطحون ، ميتاكاولين ومن جهة النشاط توجد عدة تقسيمات منها ما يلى:

8 -3 -3 -1 تقسيم الإضافات المعدنية :

1 ــ تقسيم هيئة إختبار المواد الأمريكية ASTM – C618

تقسم الــ ASTM الإضافات المعدنيه الى ثلاثة أنواع هى C & F & N وجدول رقم (8-2) يحتوى على خواص تلك المواد وتقسيمها بناء على محتوى السليكا والألومينـــا وأكــسيد الحديد .

جدول (8-2) تقسيم ASTM C618 للإضافات المعدنيه :

التقسيم	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ حد أدنى %	SO_3 حد أقصى %	محتوى الماء % حد أدنى	الفاقد بالحريق بحد أقصى%	الوصف
النوع N "Class N"	70	4	3	10	مثل المواد البوزولانيه الطبيعيه أو الطبيعيه المكلسنه
النوع F "Class F"	70	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من حرق الفحم البيتوميني وله فعل بوزولاني .
النوع C "Class C"	50	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من اللجنايت أو من الفحم تحت البيتوميني وهو بجانب فعله البوزولاني له بعض الخواص الأسمنتيه .

2ـ تقسيم مهتا Mehta .

قام مهتا بتقسيم تلك المواد الى :

1 ـ مواد ذات فعل أسمنتي مثل الخبث المطحون المنشط (Ground blast furnace slag) وهذه الماده تستخدم في صناعة الأسمنت عالي الخبث .

2 ـ مواد ذات فعل أسمنتي بوزولاني مثل الرماد الطائر المحتوى على نسبة عاليه من الكالسيوم (Type G)

3 ـ مواد ذات فعل بوزولاني وتنقسم بدورها الى :

أ ـ مواد ذات فعل بوزولاني عالي النشاط High active pozzolans مثل غبار السليكا (Condensed silica fume) ومثل رماد حرق قشر الأرز Rice husk ash والمطحون لدرجة طحن عاليه حيث تتكون تلك المواد من سليكا خالصه في هيئة غير بلوريه والرماد الطائر (Type F)

ب ـ مواد ذات فعل بوزولاني عادى مثل الرماد الطائر منخفض الكالسيوم والمواد الطبيعية مثل المواد البوزولانيه الطبيعيه التي تحتوى على الكوارتز والسيلكا والفلسبار .

ج ـ المواد ذات الفعل البوزولاني الضعيف مثل الخبث المبرد ببطئ وغبار حرق قش الأرز المحروق في الحقل (حرق غير جيد) .

3- التقسيم بناء على نوع المنتج .

يتم تقسيم الإضافات الى إضافات معدنية طبيعية (مثل المواد البوزولانية البركانيه ومثل الطين المكلسن) وإضافات تنتج موازيه لصناعة ماده أخرى (By – Product) مثل غبار السليكا والرماد المتطاير حيث أنها ليست المواد الأساسيه الناتجه من الصناعه .

8-3-3 -2 المواد المعدنية التى يمكن إنتاجها فى مصر .

جدول (8-3) يحتوى على التحليل الكيميائى لبعض المواد التى تنتج فى مصر .

1ـ غبار السليكا Silica Fume

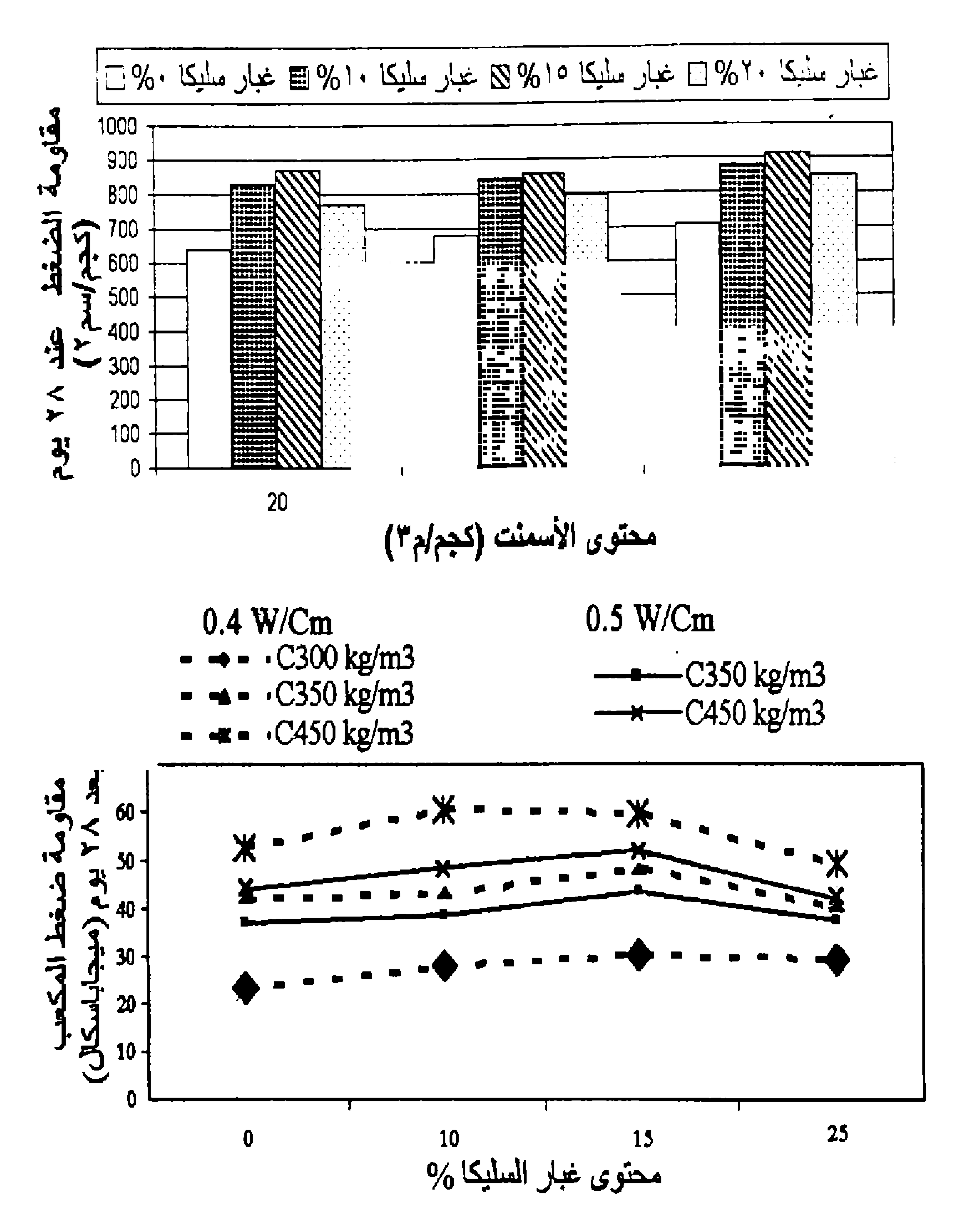
وهى ماده أساسها سليكون تنتج فى مصر بجانب صناعة الألومنيوم فى إدفو وهى ماده تتميز بنعومة عاليه حيث أن مساحتها السطحيه 167000 مم^2 / جم أى حوالى 50 ضعف من المساحه السطحيه للأسمنت ووزنها النوعى أقل من الوزن النوعى للأسمنت (حوالى 2.6) .

جدول رقم (8-3) مثال للتحليل الكيميائى للإضافات المعدنيه .

المركب	غبار السليكا	ميتا كاولين
أكسيد السليكون	93	71
أكسيد الألومنيوم	0.2	22
أكسيد الحديد	0.5	2
أكسيد الكالسيوم	5.2	0.20
أكسيد المغنسيوم	0.50	0.15
ثالث أكسيد الكبريت	0.15	2.45
أكسيد الصوديوم	0.20	0.20
أكسيد البوتاسيوم	0.50	——
الفاقد فى الوزن	1.21	2.00

ونظراً لنعومتها الشديده يمثل تداولها عيب رئيسى لها ولذلك دولياً إما أن تعبأ فى صورتها الطبيعيه (Un compacted) وتكون تكلفة نقلها عاليه ويكون نشاطها البوزولانى عالى أو تعبأ بعد دمكها (Pelletized / densified) وهنا تقل تكلفة النقل ولكن يقل النشاط البوزولانى ويمكن تعبئتها فى صورة محلول (Water slurry) حيث يقل التلوث ويسهل النقل ولكن يجب ضبط قلويتها (PH) حتى لايتكون جل .

ونظراً لنعومتها العالية فإن الحبيبات تملأ أية فراغات موجوده فى الخرسانه بالإضافه لوجود الفعل البوزولانى ولذلك فإن إستخدامها بنسبة تتراوح بين 8 ، 15 % كإحلال من وزن الأسمنت تحسن من مقاومة الضغط، انظر شكل (8ـ3) ، كما أثبت الأبحاث أن إستخدام غبار السليكا يحسن من مقاومة الصدأ ويحسن من تحمل الخرسانه لكبريتات الصوديوم ولكنه يقلل من تحمل الخرسانه لمهاجمة كبريتات المغنسيوم .



شكل (8ــ4) تأثير غبار السليكا على مقاومة الضغط للخرسانة عند 28 يوم .

كما أن إحلال جزء من الأسمنت بغبار السليكا يقلل من إنكماش الخرسانه .

2 ــ ميتاكاولين Meta Kaolin .

وهذه الماده تنتج فى العالم ويمكن إنتاجها فى مصر من مادة الكاولين المتوفره فى سيناء ويتم إنتاجها بحرق الكاولين لدرجة حراره تتراوح بين 600 و 900 درجة مئوية ويتم طحن الماده الناتجه لتنعيمها للمساحه السطحيه المطلوبه ، وعملية الطحن هى العمليه الوحيده التى تقف عائق فى إنتاج هذه الماده فى مصر وتتميز هذه الماده بفعلها البوزولانى وإستخدامها كجزء إحلالى من الأسمنت حتى 15 % وهى تحسن مقاومة الضغط وتحسن من مقاومة صدأ صلب التسليح .

3 ـ الخبث Slag

إن خبث الحديد الذى ينتج فى مصر عند طحنه وإضافته لكلنكر الأسمنت يجب ألا تزيد نسبته عن 30 % لأن هذا الخبث لايتم تنشيطة . إما الخبث المنشط لاينتج فى مصر وتقوم بعض شركات الأسمنت بإستيراد الخبث المنشط وتضيفه لكلنكر الأسمنت لإنتاج الأسمنت عالى الخبث (أنظر باب الأسمنت) .

4 ـ غبار قشر الأرز Husk rice ash

تنتشر زراعة الأرز فى مصر ومنذ الأزمنه القديمه كان يستخدم ناتج حرق قشر حبيبات الأرز كماده بناء وكان يطلق على هذا المنتج إسم القسرمل ، حيث كان يضاف للجير ليستخدم كمونه لاحمه . وأثبتت الأبحاث المجراه أنه بطحن الماده الناتجه من حرق قشر الأرز تنتج ماده بوزولانيه تستخدم كإضافه معدنيه للخرسانه ومن المهم التأكيد على التفرقه بين حرق قشر الأرز وبين حرق سيقان نبات الأرز ، حيث أن حرق السيقان بعد طحنها يكون الفعل البوزولانى فيها ضعيف جداً .

3-3-3-8 فعل الإضافات المعدنيه .

إن الإضافات المعدنية تحسن خواص الخرسانه من خلال أو كل الأنشطه التاليه :

1 ـ النشاط البوزولانى Pozzolanic effect .

وهو النشاط الذى ينتج من إتحاد أكسيد السليكون الموجود فى الإضافه الكيميائيه مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود فى الخرسانه وينتج جل إضافى يحقق مقاومة إضافية

$$3Ca(OH_2) + 2SiO_2 \longrightarrow 3CaO_2\ SiO_2\ 3H_2O \ldots\ldots \ldots\ldots\ldots \quad (8\text{-}1)$$

وهذا النشاط بطيئ ولذلك يملأ هذا الجل أية فراغات فى الخرسانه وأثبت تصوير الخرسانه بالميكرسكوب أن الفراغات الدقيقه تملأ عند إستخدام المواد البوزولانيه وبذلك فإن الفعل البوزولانى يثبت هيدروكسيد الكالسيوم وأثبتت الأبحاث أن هذا التفاعل لايقلل قلوية الخرسانه كثيراً حيث تكون PH فى حدود 12.5 وبذلك يحسن تحمل الخرسانة عامة .

2 ـ الفعل الأسمنتى :

بعض أنواع الإضافات المعدنيه مثل الرماد الطائر (الرماد الطائر عالى الكالسيوم) تحتوى على نسب من C3A و CS و C4A3S بالإضافه لنسبة من الجير Free Lime وهذه المواد تتحد مع الماء وتكون ماده لاحمه أسمنتيه .

3 ـ فعل الملأ Filling effect .

بعض الإضافات المعدنيه ذات النعومه العاليه مثل غبار السليكا والرماد الطائر عند إضافتها للخرسانه فإن نعومتها العاليه تجعلها تملأ جزء من الفراغات الموجوده بالخرسانه مما يجعل الخرسانه أعلى كثافه وأفضل تحميله . ويلاحظ أن الإضافات ذات الفعل الأسمنتى والبوزولانى الضعيف تساعد الخرسانه بهذا الفعل بالإضافه لإستخدامها لأغراض أخرى مثل تقليل النزيف فى الخرسانه المضخوخه أو المصبوبه تحت الماء .

الباب التاسع
تشكل الخرسانة (Deformations of Concrete)

9ـ1 مقدمة:

يتناول هذا الباب التشكلات التى تحدث بالخرسانة أثناء خدمتها فى عمرها. ويمكن تلخيص هذه التشكلات فيما يلى:

1. التشكلات الناتجة من إجهادات التشغيل.
2. التشكلات الناتجة من حركة المياه إلى داخل الخرسانة أو خارجة من الخرسانة.
3. الزحف الذى يعتمد على الزمن لعضو مجهد.

وعموما فحتى يأخذ المهندس تأثير هذه الانفعالات أو بعض منها على المنشآت، فعليه التعرف على معاير مرونة الخرسانة.

9ـ2 معاير مرونة الخرسانة الاستاتيكى Static Modulus Of Elasticity :

9-2-1 عام

من المعلوم أن المهندس عند التصميم يحتاج لحساب تشكلات العضو الخرسانى، و يمكن إجمال حساب التشكلات كما يلى:

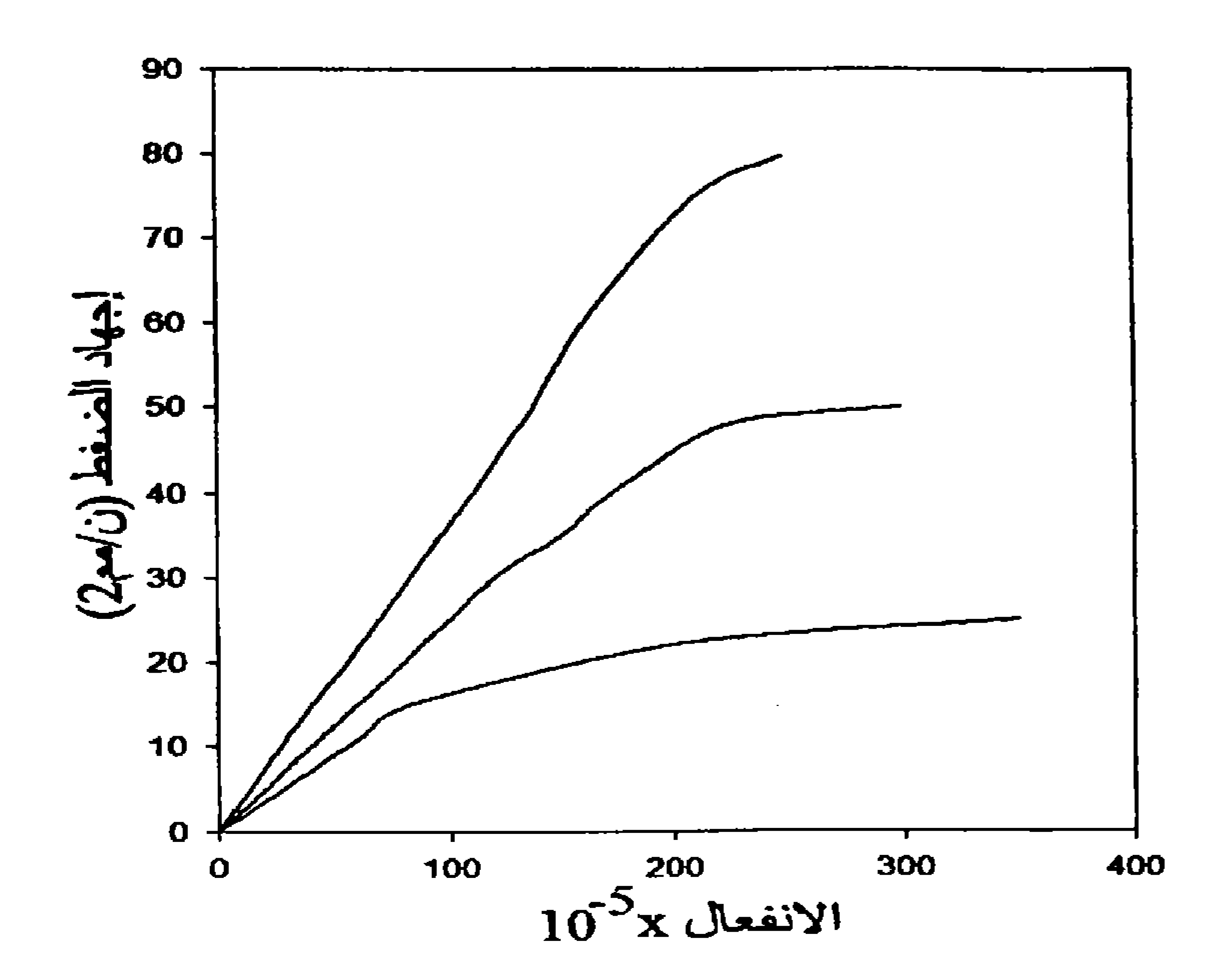
- تشكل عضو محورى، و يحسب من المعادلة: $\Delta L = \frac{C \cdot L}{A \cdot E}$

حيث C القوة المحورية و L طول العضو و A مساحة المقطع و E معاير المرونة.

- تشكل عضو معرض لعزم انحناء، ويحسب من العلاقة: $\frac{d^2y}{dx} = -\frac{M_x}{E.I}$

حيث y هو تشكل الكمرة المعرضة لعزم انحناء M_x وهو العزم الحادث عند قطاع يبعد x من نقطة الأصل.

وعموما عند دراسة العلاقة بين إجهاد الضغط والانفعال لعينات من خرسانات مختلفة المقاومة. وجد أن العلاقة تكون كما هو مبين بشكل (9ـ1).



شكل (9ـ1) علاقة تخطيطية بين الإجهاد والانفعال

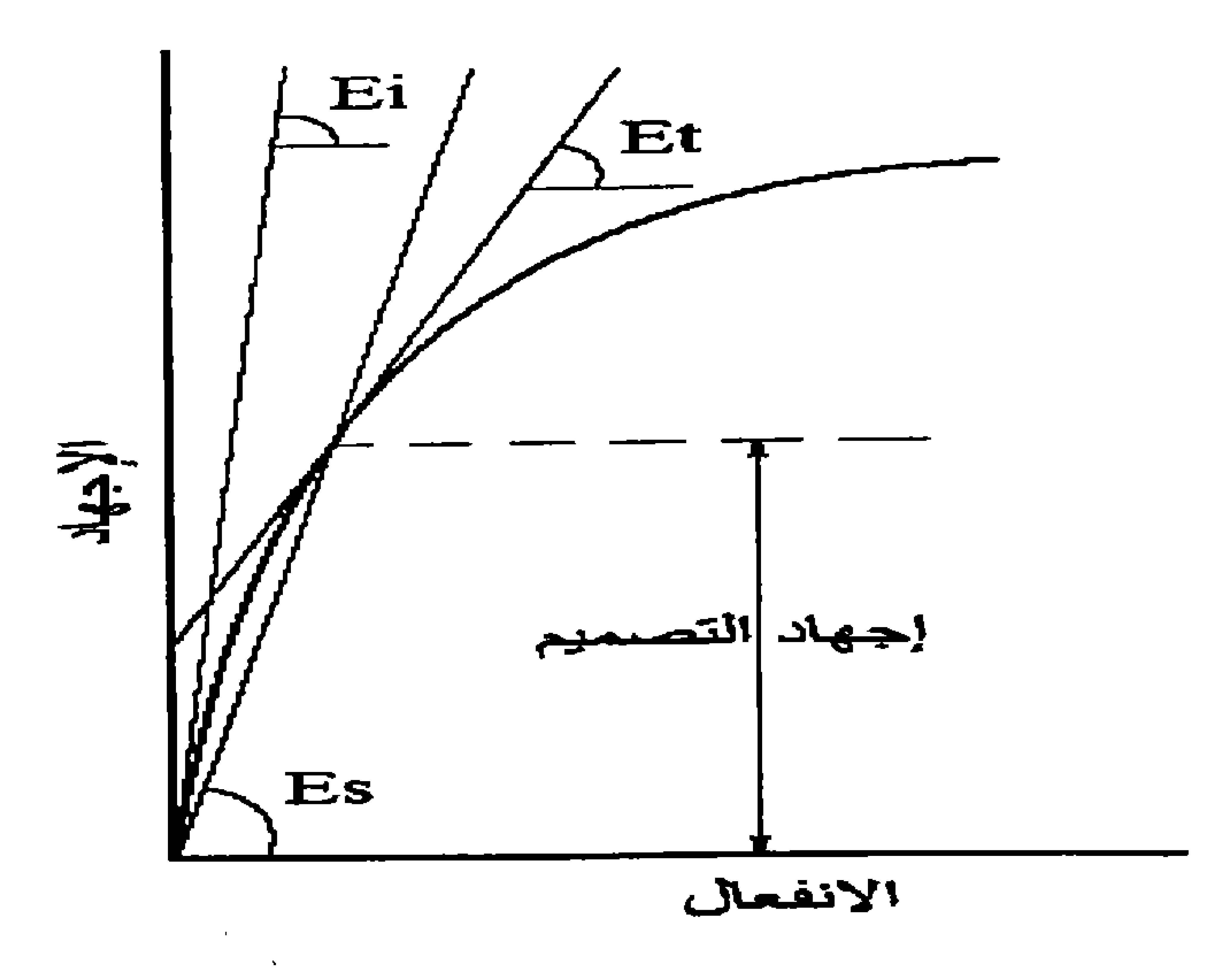
من هذا الشكل يتضح أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة يتحسن معاير المرونة ولكن تقـل ممطولية الخرسانة. ويعتبر نقص الممطولية أحد المشاكل التى تواجه الخرسانة فائقة المقاومة، حيث تزيد قصافتها مما يجعل الانهيار أقرب للانهيارالمفاجىء. و يتـضح منـه ايـضا أن للخرسانة عالية المقاومة تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال فى بداية المنحنى أقرب ما تكون للخط المستقيم.

وباستخدام قانون هوك يمكن حساب معاير المرونة.

$$\text{معاير المرونة} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

ونظراً لأن الخرسانة ليست مادة مرنة ولأن العلاقة بين الإجهاد والانفعال ليست خطية، فإنـه يمكن حساب معاير المرونة الاستاتيكى للخرسانة فى الضغط باستخدام إحدى الطرق التاليـة، انظر شكل (9ـ2).

- معاير التماس الأولى Ei Initial tangent modulus
- معاير التماس Et Tangent modulus
- معاير القاطع Es Secant modulus



شكل (9ــ2) طرق تحديد معاير المرونة فى الضغط

ويحدد الكود الوطني للخرسانة المسلحة أو المواصفات القياسية الطريقة التى تتبعها كل دولة فى تحديد معاير المرونة.

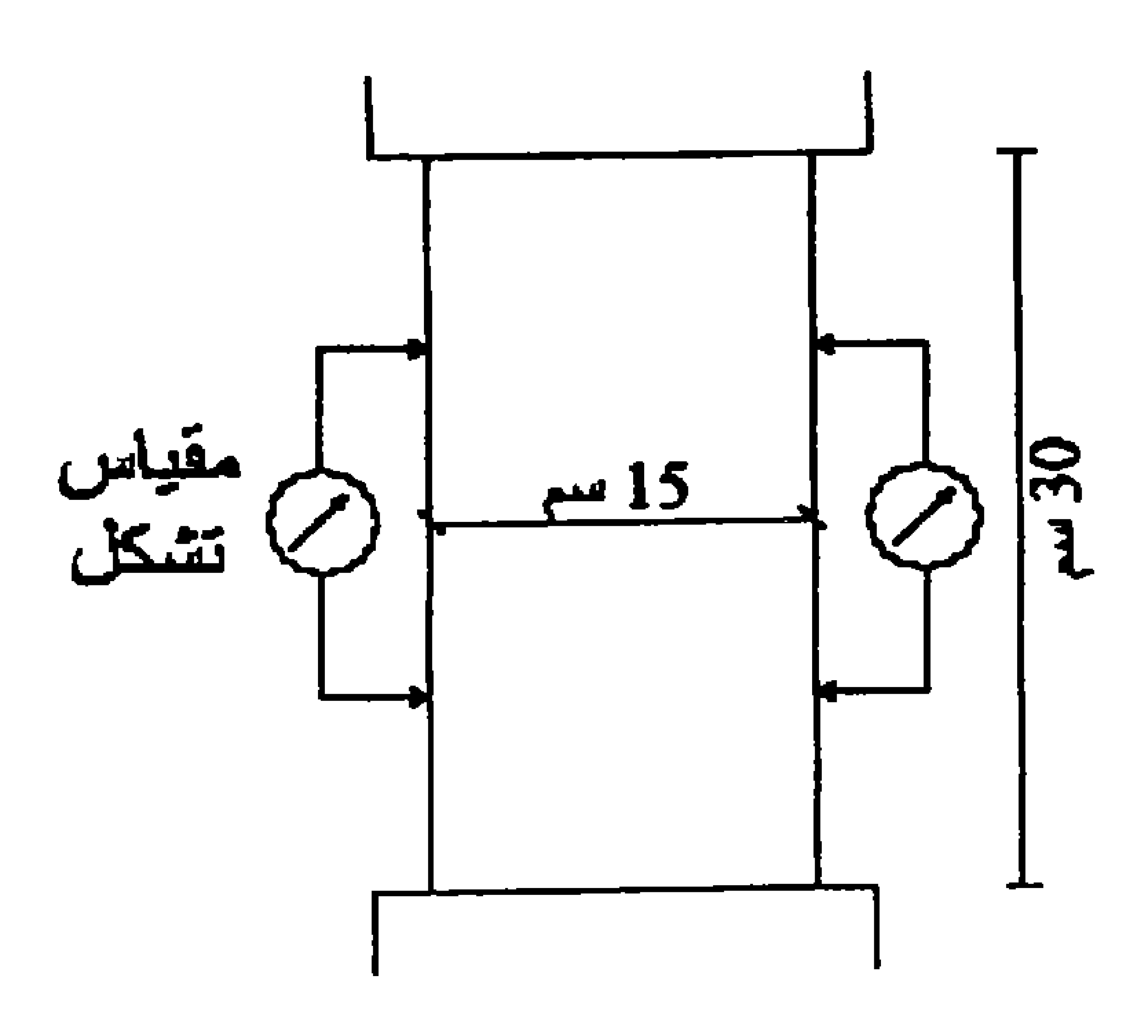
9-2-2 اختبار معاير المرونة الاستاتيكى فى الضغط:

- يتم صب عدد معين من اسطوانات الخرسانة (15×30سم) ومعالجتها طبقا لاشتراطات المواصفات القياسية.
- عند عمر الاختبار (غالباً ما يكون 28 يوم)، يتم تحديد مقاومة ضغط الخرسانة (F_{cu}) عن طريق اختبار مجموعة من الاسطوانات فى الضغط حتى الانهيار.
- حدد إجهاد التحميل المتغير $f_a = \frac{F_{cu}}{3}$.
- يتم تثبيت مقياسين أو أكثر على جوانب الاسطوانة بطول قياسى 15سم لتحديد تشكل الخرسانة (شكل 9-3- أ)(يوجد جهاز خاص لمعاير المرونة الاستاتيكى بالسوق المحلى).
- تحمل العينة لأول دورة بالتدريج بمعدل 140 كجم/سم^2/دقيقة، حتى نصل لحمل يولد إجهاد قدرة (f_a) كجم/سم^2، ونقرأ مقاييس التشكل، ثم نرفع الحمل بالتدريج إلى أن نصل إلى الحمل الأدني ($C_{\min}$) الذي يحقق إجهاد قدره 5 كجم/سم^2، ثم نحدد القراءات.
- تحمل العينة للدورة الثانية بحمل أقصى ($C_{\max}$). بالتدريج ليولد إجهاد قدره (f_a) كجم/سم^2، ثم يرفع الحمل للوصول إلى الحمل الأدنى المذكور بالمرحلة الأولى، ويتم قراءة المقاييس فى التحميل والإزالة.
- تحمل العينة للدورة الثالثة على عشرة تحميلات متساوية للوصول للحمل الأقصى المذكور فى المرحلة الثانية، وفى كل تحملية نسجل قراءات التشكل .
- نتائج مرحلة التحميل الثالثة تستخدم لحساب الإجهاد والانفعال. وترسم العلاقة كما بشكل (9-3- ب) لتحديد معاير مرونة الخرسانة القاطع E_s كما هو مبين بالشكل :

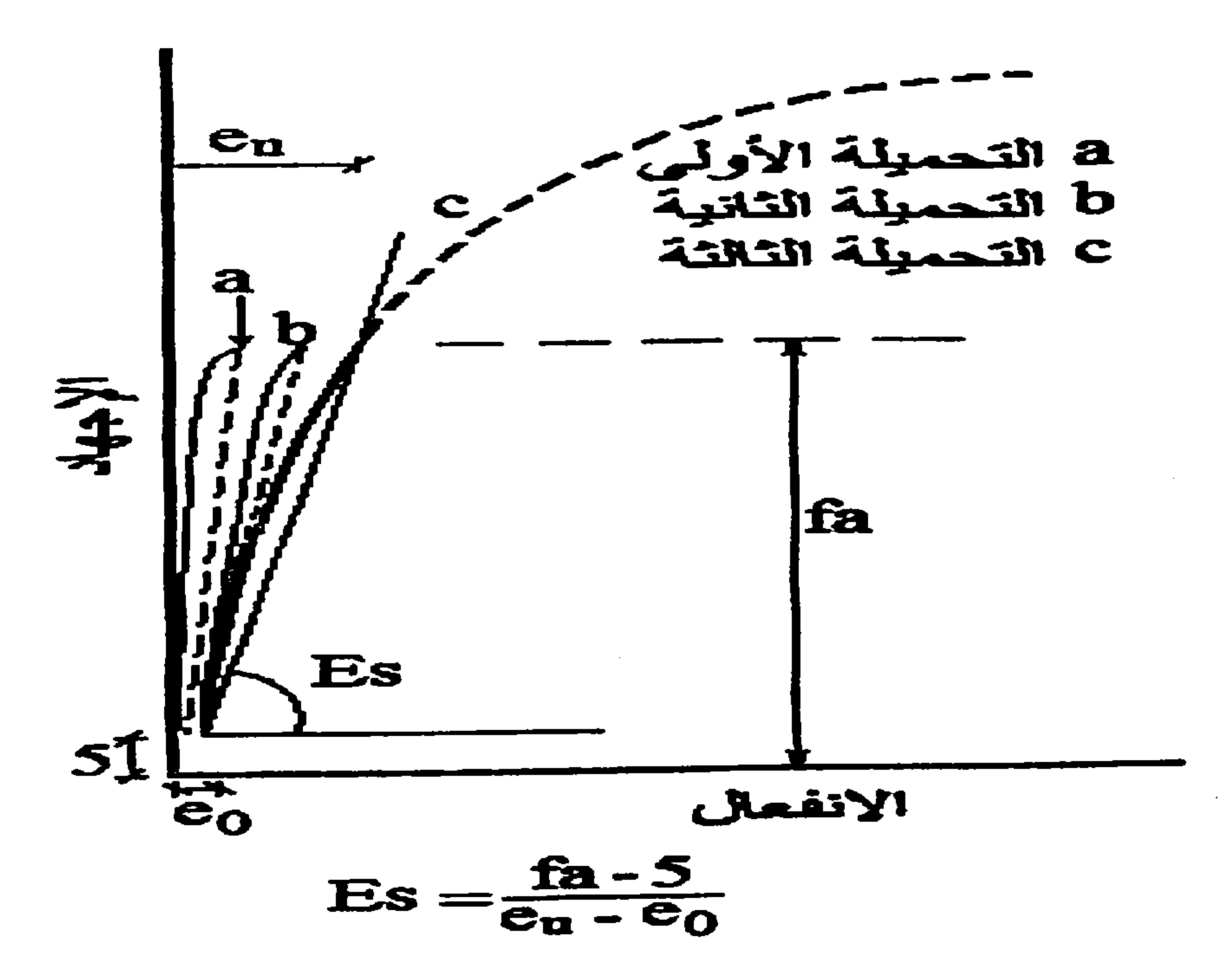
وبالمعادلة التالية $E_s = \frac{f_a - 5}{e_u - e_0}$.

حيث e_u الإنفعال المناظر لإجهاد f_a وe_0 الإنفعال المناظر لإجهاد 5 كجم/سم^2

- وفي بعض المشاريع يمكن تحديد معاير المرونة من نتائج اختبار الانحناء الكمرى برسم العلاقة بين حمل الانحناء والترخيم المُناظر ويحسب معاير المرونة بالتعويض في صيغة سهم الانحناء المزكور في كتب نظريات المرونة بدلالة حمل الانحناء وسهم الانحناء المناظر لنقطة تقع علي الخط المستقيم.



شكل (9-3-أ) رسم تخطيطى لجهاز قياس معاير المرونة الاستاتيكى

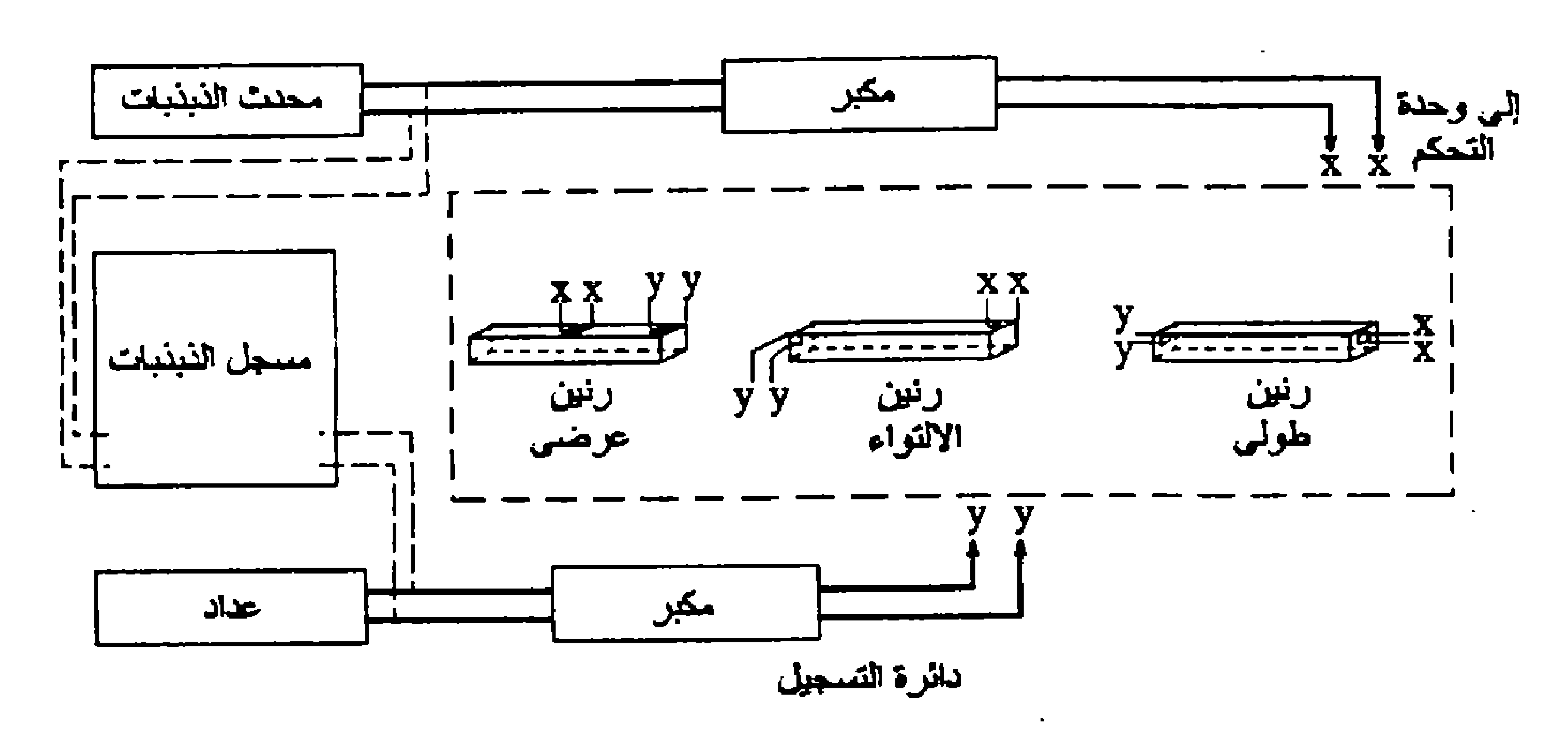


$$Es = \frac{fa - 5}{e_u - e_0}$$

شكل (9-3-ب) طريقة تعيين معاير مرونة القاطع

3-2-9 معاير المرونة الديناميكي Dynamic Modulus Of Elasticity (Ed):

أثبت الباحثون أنه يمكن تحديد معاير المرونة بطريقة غير متلفة، بتعريض عينة خرسانية على هيئة اسطوانة أو منشور إلى الاهتزاز ترددياً عن طريق محدث ذبذبات، انظر شكل(9-4).



شكل (9-4) جهاز قياس معاير المرونة الديناميكى

ولتعيين معاير المرونة الديناميكى يتم تعريض العينة للاهتزاز بترددات مختلفة. وتردد الاهتزازة الذى تحدث أكثر انحراف بالعينة الرئيسية يتم تسجيلها ، ويظهر ذلك عن طريق شاشة بالجهاز، وتردد الاهتزازة المحصول عليها تستخدم في حساب معاير المرونة الديناميكى من العلاقة :

$$E_d = K.W.m^2 \qquad \text{MPa}$$

حيث K = ثابت يتوقف على نوع الذبذبة هل هى عرضية أم طولية وكذلك نوع العينة.

W = وزن العينة بالجم.

m = تردد العينة بالدورة/ثانية.

ويلاحظ أن معاير المرونة الديناميكى قريب فى قيمته من معاير التماس الأولى.

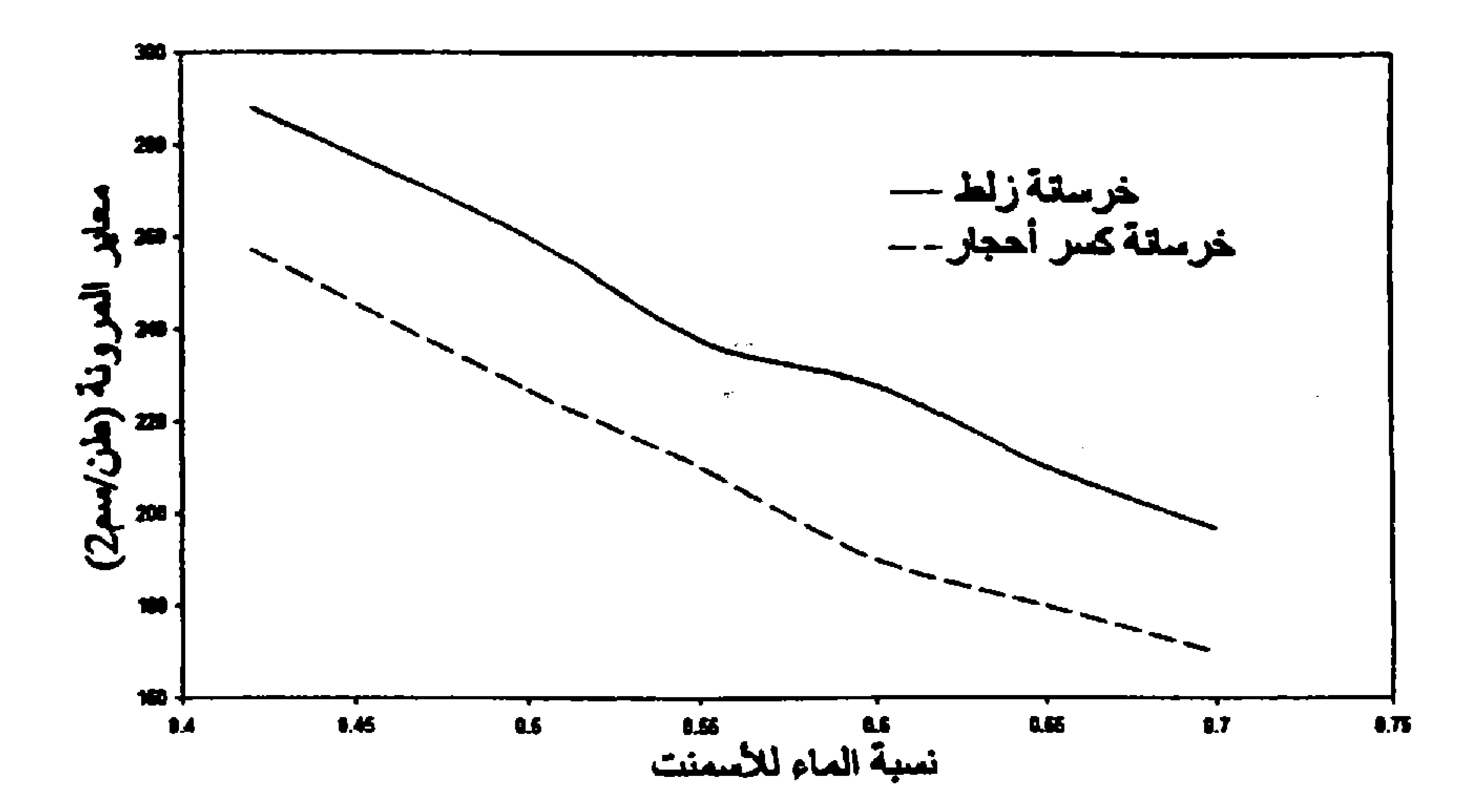
وقد أثبتت الأبحاث أن معاير المرونة الديناميكى أكبر من معايرى المرونة القاطع والوتر بحوالى 20-30%. ويقل هذا الفرق مع زيادة مقاومة الخرسانة للضغط.

ويستخدم معاير المرونة الديناميكى للحكم على تحملية الخرسانة فى الظروف الكيميائية والجوية السيئة. كما يفيد فى الحسابات الديناميكية للمنشآت.

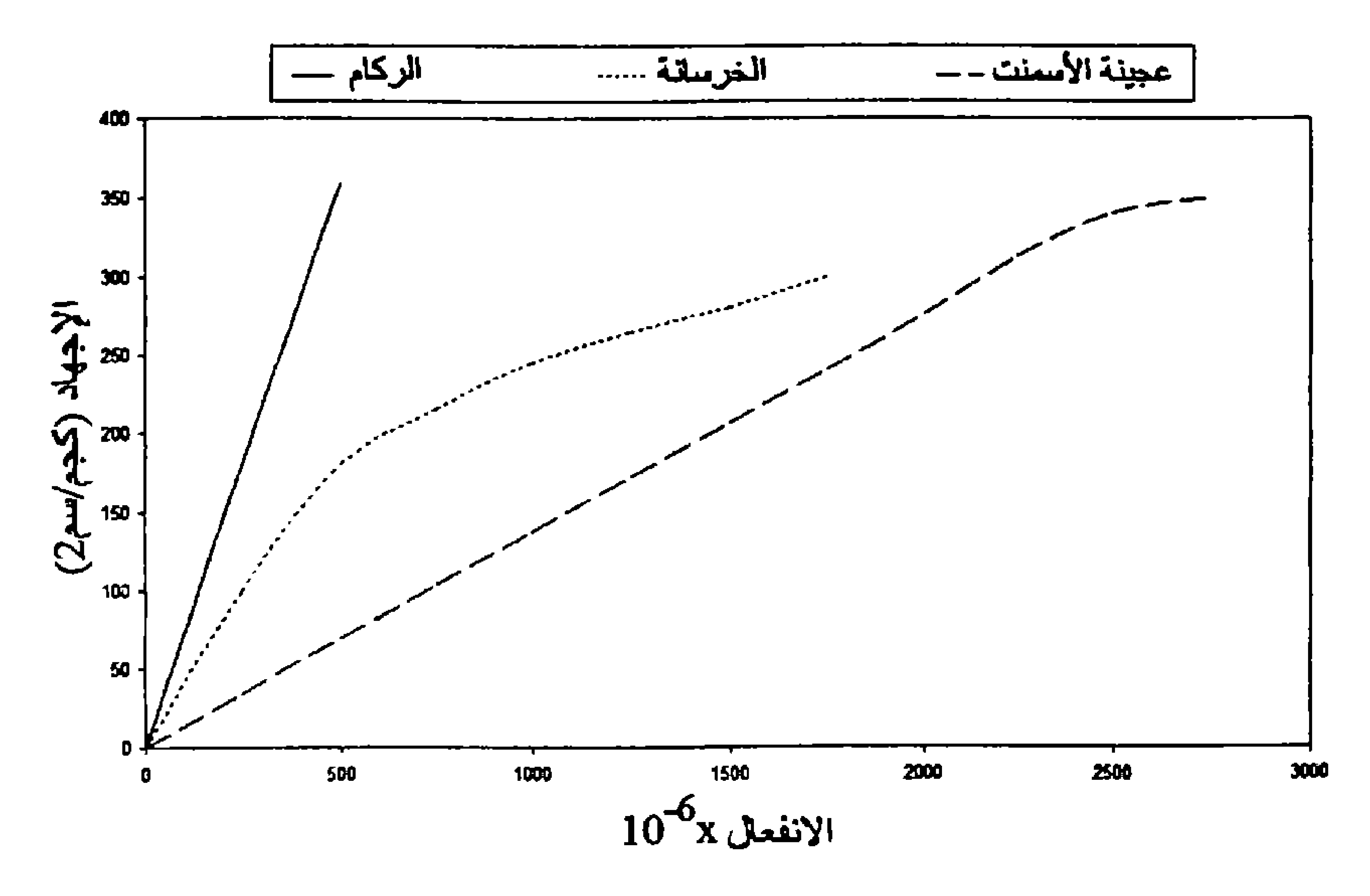
4-2-9 العوامل المؤثرة على معاير المرونة :

عموماً وجد أنه كلما زادت مقاومة ضغط الخرسانة تتحسن قيم معاير المرونة. وبالتالى فإن العوامل المؤثرة على مقاومة ضغط الخرسانة تؤثر على ذلك المعاير. فكلما نقصت نسبة الماء إلى الأسمنت وزاد عمر الخرسانة وزاد غنى الخرسانة، تتحسن قيم معاير المرونة.

وقد لوحظ أن معاير المرونة يتأثر تأثراً كبيراً بنوع الركام الكبير ونسبته فى الخلطة. وشكل (9-5) يوضح تأثير نوع الركام. والذى يتضح منه أن خرسانة الحجر الجيرى تحقق معاير مرونة أقل من خرسانة الزلط. وأثبتت الأبحاث أنه بزيادة نسبة ركام الخرسانة الكبير يتحسن معاير مرونة الخرسانة،وذلك نظراً لقلة معاير مرونة الخرسانة لعجينة الأسمنت بالنسبة للركام، شكل(9-6).



شكل (5-9) تأثير نوع الركام ونسبة الماء إلى الأسمنت على معاير المرونة



شكل (6-9) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للركام والخرسانة وعجينة الأسمنت

وقد لوحظ أن معاير مرونة العينات المختبرة وهى رطبة تحقق معاير مرونة أعلى من العينات المختبرة وهى جافة. وقد تبين أن معاير مرونة الخرسانة الخفيفة حوالى 40-80% من معاير مرونة الخرسانة عادية الوزن.

5-2-9 حساب قيم معاير المرونة نظرياً :

أثبتت الأبحاث أنه يمكن التعبير عن معاير مرونة الخرسانة كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة. ويمكن استخدام المعادلات الآتية التى ينص عليها الكود الأمريكى (ACI) فى الضغط (F_{cy}). لحساب معاير المرونة بالجيجا باسكال (يساوى 0.1 طن/سم2) كدالة من مقاومة الاسطوانة بالميجا باسكال لخرسانة وحدة وزنها 2.45 طن/م^3.

$$Ec = 4.73(F_{cy})^{0.5} \quad \text{............ (1–9)}$$

وأوصى كذلكَ باستخدام المعادلة التالية كدالة من وحدة وزن الخرسانة γ طن/م^3.
علماً بأن وحدات معاير المرونة طن/سم^2 ومقاومة الاسطوانة كجم/سم^2.

$$Ec = 4.3\gamma^{1.5}(F_{cy})^{0.5} \quad \text{............ (2–9)}$$

ويوصى الكود المصرى للخرسانة باستخدام المعادلة التالية لحساب معاير المرونة بال (نيوتن/مم2) كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة للمكعب بال(نيوتن/مم2).

$$Ec = 4400\sqrt{F_{cu}} \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \text{............ (3–9)}$$

نسبة بواسون:
تتراوح نسبة بواسون للخرسانة بين 0.15، 0.20.

3-9 انكماش الخرسانة (Shrinkage of Concrete):

والمقصود بالانكماش هو انفعال التقلص الناتج من فقد ماء الخرسانة. ويمكن حصر الأنواع المختلفة فى الانكماش كما يلى:

1. الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage).
2. انكماش الجفاف (Drying Shrinkage).
3. الانكماش الذاتى (Autogenous Shrinkage).
4. انكماش الكربنة (Carbonation Shrinkage).

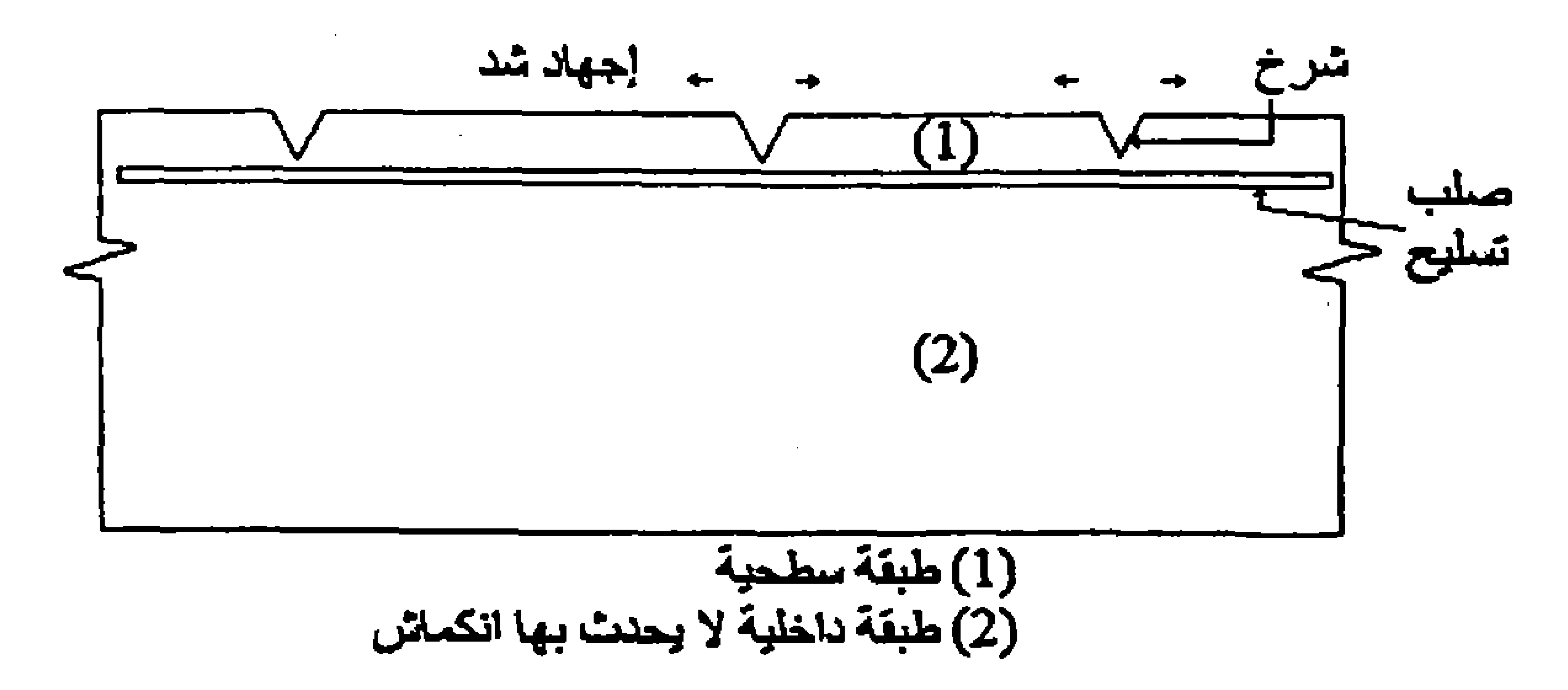
ويعرف الانكماش اللدن بأنه هو الانكماش الذى يحدث فى المراحل الأولى بعد صب الخرسانة مباشرةً وينتج من فقد الماء من الطبقات العلوية التى تتعرض للحرارة والرطوبة والرياح. و الانكماش الذاتى هو الانكماش الذى يحدث فى الخرسانة رغم منع ماء الخلط من الخروج من الخرسانة ويحدث نتيجة فقد ماء الخلط نظراً لحدوث إماهة للأسمنت ويظهر تأثيره أكثر فى الخرسانة ذات نسبة الماء للأسمنت القليلة (نظرياً أقل من 0.42) وتأثير هذا الانفعال محدود إلا فى الخرسانة الكتلية. ويحدث انكماش الكربنة من اتحاد ثانى أكسيد الكربون مع هيدروكسيد الكالسيوم والذى يؤدى إلى خروج الماء إلى خارج الخرسانة وقد سبق دراسة خاصية الكربنة فى باب التحمليه. وانكماش الجفاف يحث فى الخرسانة المتصلدة. ويمثل أول نوعان أهمية خاصة للمنشآت ولذلك سيتم دراستهما بالتفصيل.

1-3-9 الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage):

ويحدث الانكماش اللدن فى الخرسانة قبل تصلبها. والسبب الرئيسى هو تعرض الخرسانة لعوامل الجو من حرارة مرتفعة ورطوبة منخفضة ورياح سريعة، مما يعرض سطح الخرسانة الخارجى لفقد سريع فى ماء الخلط، و هذا يعرض سطح الخرسانة لانكماش سريع والخرسانة فى مراحل شكيا الأولى، مما قد يولد بها شروخ سطحية كما هو مبين بشكل (9-7).ناتجه من تقييد الطبقة السفلية، التى لا تتعرض للانكماش ، وكذلك التقييد الناتج من صلب التسليح لانكماش الطبقة العلوية

وعموماً فإنه يمكن للمهندس تقليل آثار الانكماش عن طريق:

1. المحافظة على عدم فقد ماء الخلط مبكراً وذلك عن طريق المعالجة المبكرة .

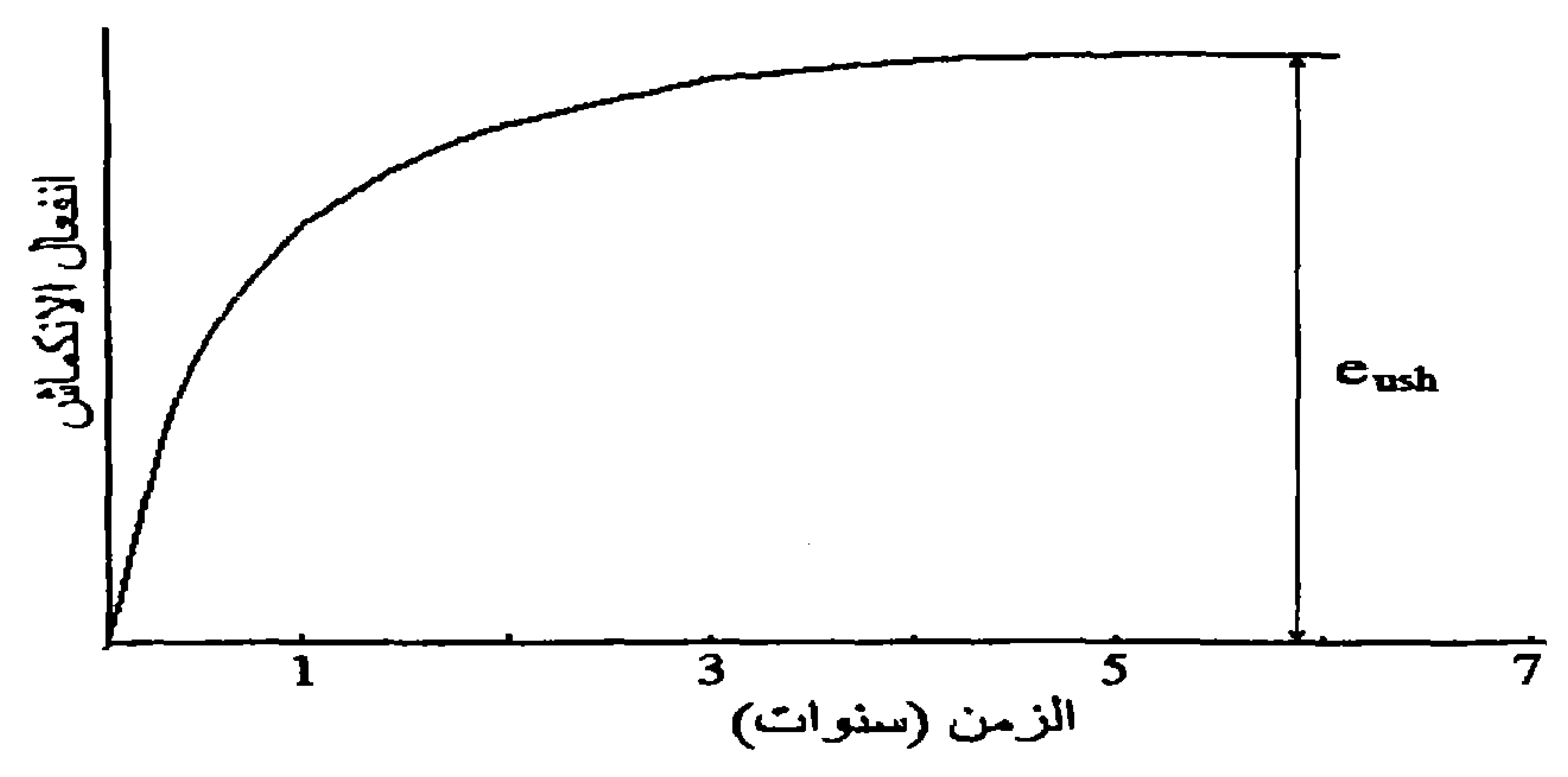


شكل (9-7) الشروخ الناتجة من الانكماش اللدن

2 - فى الأجواء الحاره يتم إضافة ألياف بروبلين بنسبة تتراوح بين 0.2 الى 3% فى المائة من حجم الخرسانة .
3 - يتم فرد أغشيه من النايلون على سطح الخرسانة بمجرد صبها .
4 - أخذ الإحتياطات المذكوره فى الصب فى الأجواء الحاره المذكوره بباب صناعة الخرسانه

2-3-9 انكماش الجفاف (Drying Shrinkage):

بعد صب الأعضاء الخرسانية تتصلب الخرسانة وتبدأ فى التعرض للعوامل الجوية من حرارة ورطوبة ورياح، فيبدأ ماء الخلط الداخلى فى الخروج مع مرور الزمن، وتبدأ الخرسانة فى الانكماش. وبدراسة الانكماش على منشور بأبعاد 10×10×40سم ، وتستخدم ACI 490 منشور بأبعاد مناسبة بحيث يكون طول القياس 250 مم و باستخدام جهاز الانكماش المزود بجهاز لقياس الإنضغاط دقته 0.002 مم ، حيث يتم تحديد طول المنشور على فترات متعددة وحساب انفعال الانكماش عند أزمنة متعددة، ثم ترسم العلاقة بين الزمن وانفعال الانكماش، نحصل على منحنى مثل شكل (9-8).



شكل (9-8) علاقة تخطيطية بين الانكماش والزمن

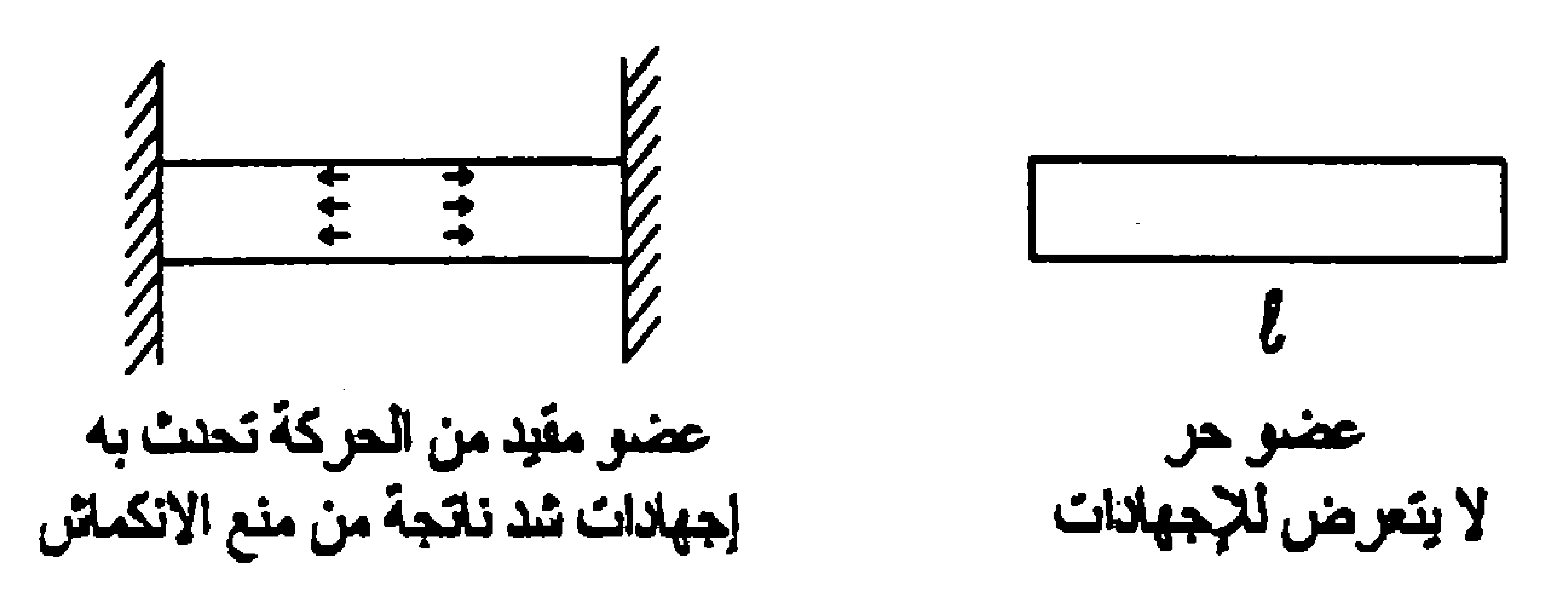
ويتضح من هذا المنحنى أنه بزيادة الزمن يزيد الانكماش، حتى نصل إلى الانكماش الحرج (e_{ush}) الذى يحدث بعد عدة سنوات. ويلاحظ أن أكثر من 50% من الانكماش يحدث بعد سنة.
ويمكن حساب انفعال الانكماش (e_{tsh}) عند زمن t من المعادلة التالية بمعرفة e_{ush}:

$$e_{tsh} = e_{ush}(0.157 Lnt - 0.112)$$

حيث t = الزمن بالأيام.

3-3-9 تأثير الإنكماش :

إذا كان العضو الخرسانى حراً، فإنه لن تتولد فيه آية إجهادات شكل (9-9). ولكن أغلب الأعضاء الخرسانية تكون مقيدة. وعلى ذلك عند تعرض العضو المقيد للانكماش تتولد إجهادات شد قد تحدث شروخاً فى الأعضاء الخرسانية إذا أهملنا معالجة الخرسانة أو إذا لم تنفذ فواصل تمدد للمنشآت.



شكل (9-9) تأثير تقييد انفصال الانكماش

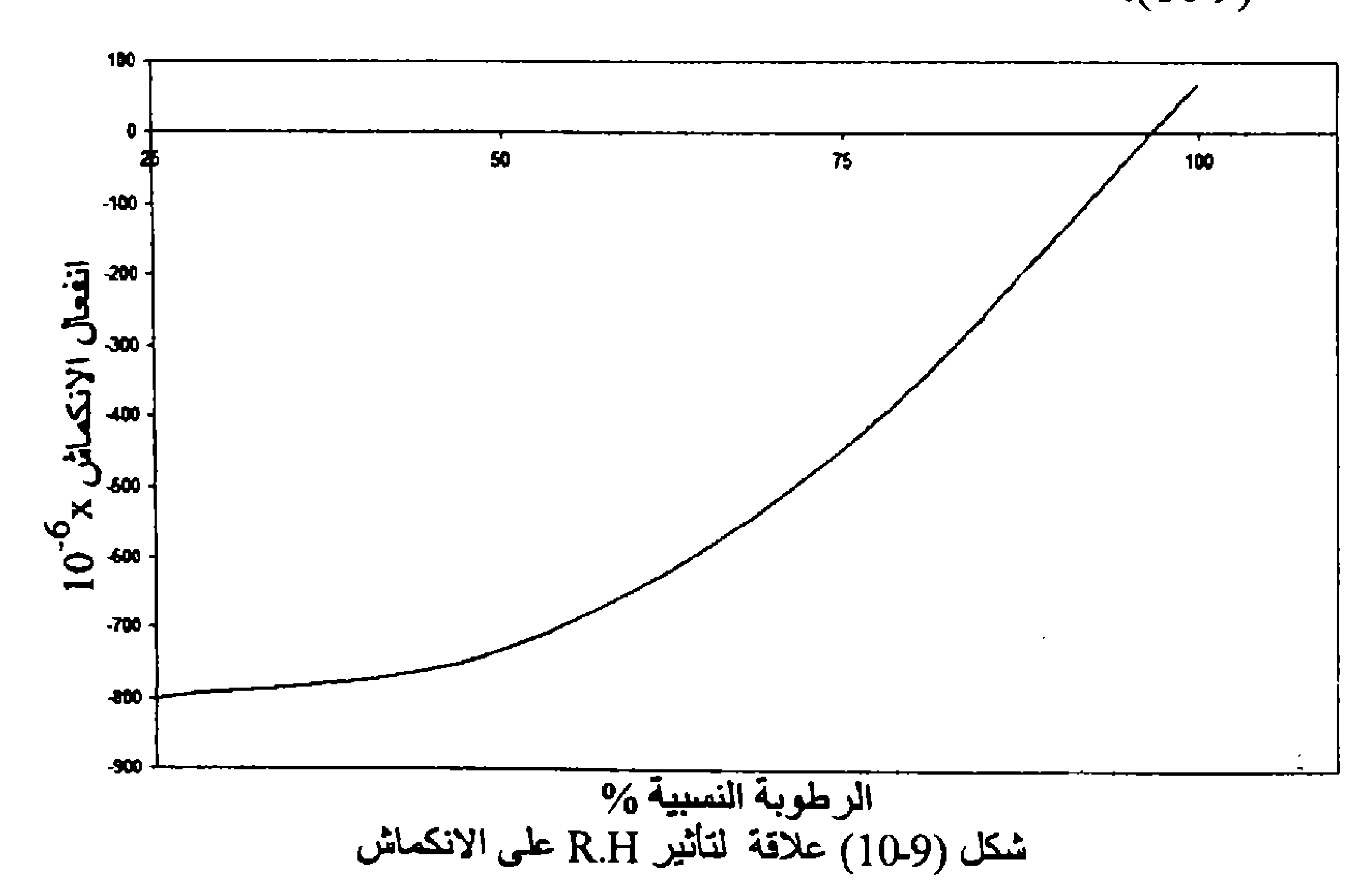
4-3-9 العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف:

1. محتوى ماء الخلط:

أثبتت الأبحاث أنه كلما زاد محتوى الماء بالخلطة يزيد الانكماش، وسوف يتم إعطاء معادلة لحساب الانكماش الأقصى للخرسانة (الحرج) كدالة من محتوى الماء.

2. الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة :

للرطوبة النسبية تأثير مهم، فكلما كان الجو جافاً يزيد الانكماش. ويتضح ذلك من شكل (10-9).

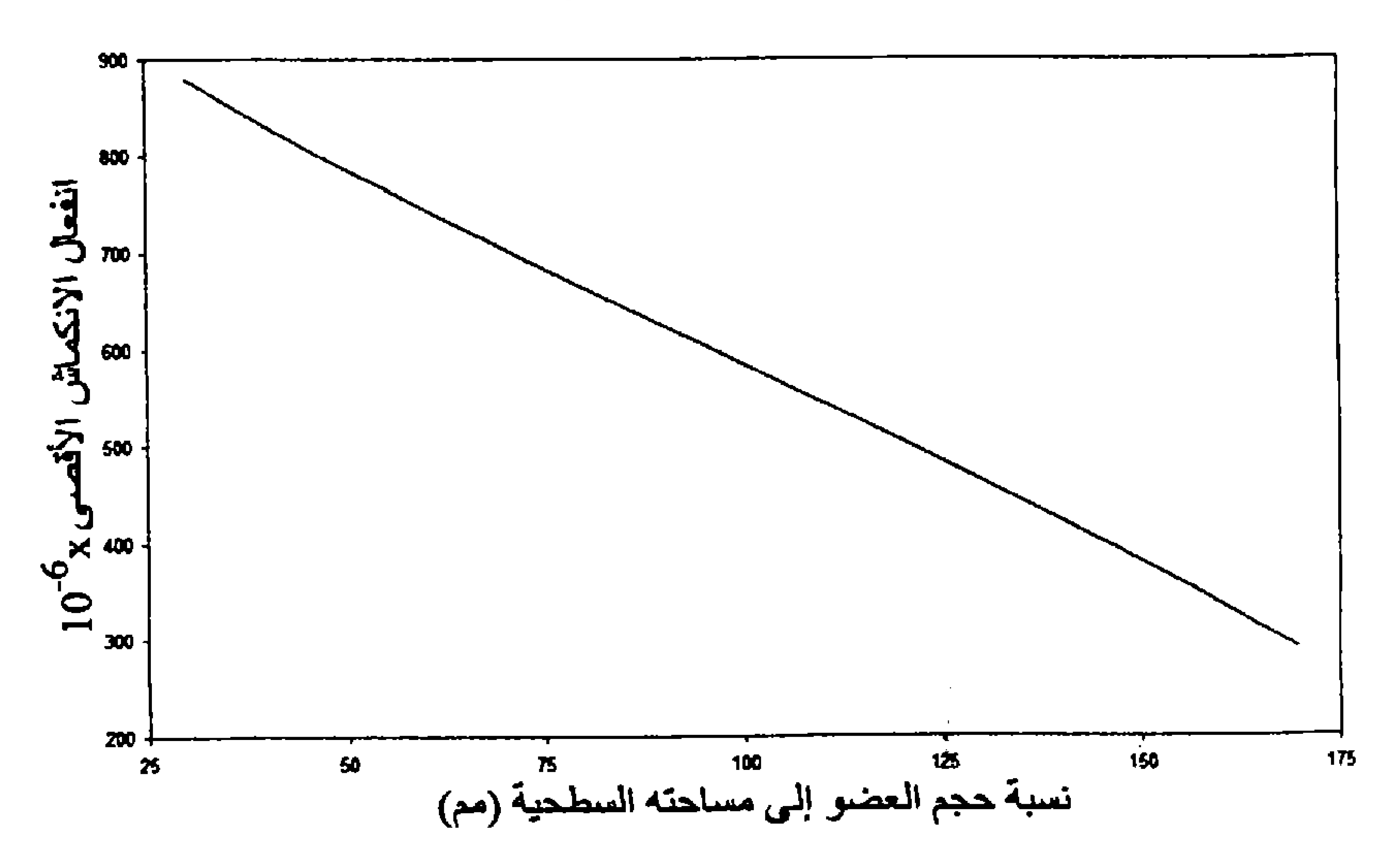


شكل (10-9) علاقة لتأثير R.H على الانكماش

وكلما كانت درجة الحرارة مرتفعة والرطوبة النسبية منخفضة، يــزداد الانكمـــاش كثيراً.

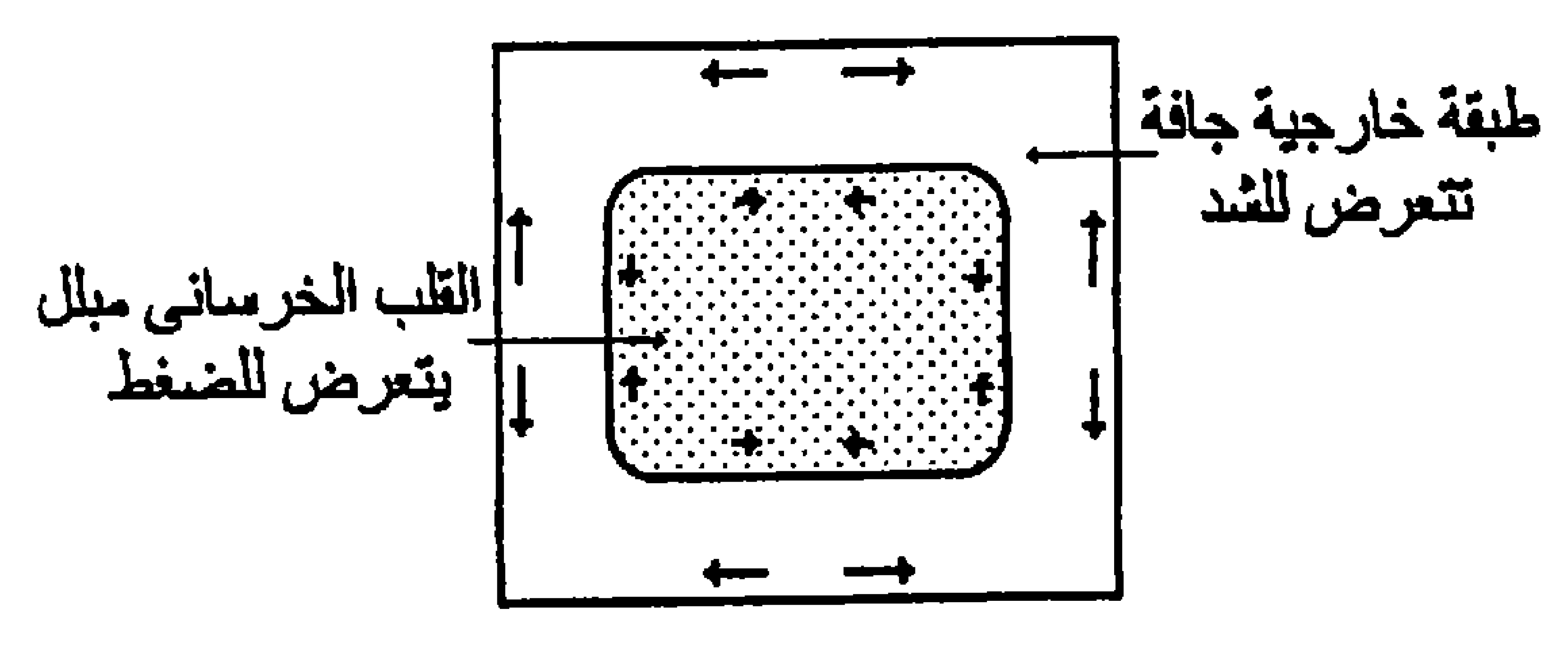
3. شكل العضو الخرسانى:

أثبتت الأبحاث أنه كلما كان العضو الخرسانى ذو مساحة سطحية كبيرة وسمك الخرسانة قليل، زاد الانكماش، وذلك لسهولة انتقال الماء بداخل العضو الخرســانى إلى الجو. وأمكن التعبير عن ذلك بالنسبة بين حجم العضو الخرسانى إلى مــساحته السطحية. وشكل (9ــ11) يوضح تأثير هذا العامل، والذى يتضح منه أنـــه كلمـــا زادت هذه النسبه يقل انكماش الخرسانة.ومن المهم لفت النظرالي ان انكماش قطاع مستطيل أقل من انكماش قطاع على هيئة حرف T أو حرف I له نفس حجم القطاع المستطيل، ويعود ذلك إلى نقص مسار خروج الماء الداخلى.



شكل (9ــ11) تأثير نسبة حجم العضو إلى مساحته السطحية على الانكماش

وشكل (9ــ12) يوضح الإجهادات الناشئة فى كتلة خرسانية كبيره حيث تتعرض الطبقات السطحية للانكماش والطبقات الداخلية لا يحدث بها انكماش (قيد للطبقات الخارجيـــة) وهـــذا يؤدى إلى ظهور إجهادات شد فى خارج الكتلة مما قد يعرضها للتشريخ، ولذلك يجب معالجة المنشآت الكتلية بعد الصب مباشرةً ولأطول فترة ممكنة.



شكل (9ــ12) يوضح الإجهادات الناشئة فى كتلة من الخرسانة تتعرض للانكماش

4. الأسمنت:

كلما زاد محتوى الأسمنت يزيد الانكماش. لذلك يحدد الكود المصرى للخرسانة المسلحة حد أقصى لاستخدام الأسمنت. ولثبتت الأبحاث أن الأسمنت سريع التصلب والأسمنت فائق النعومة يحقق انكماش أعلى من خرسانة الأسمنت البورتلاندى العادى.

5. الركام:

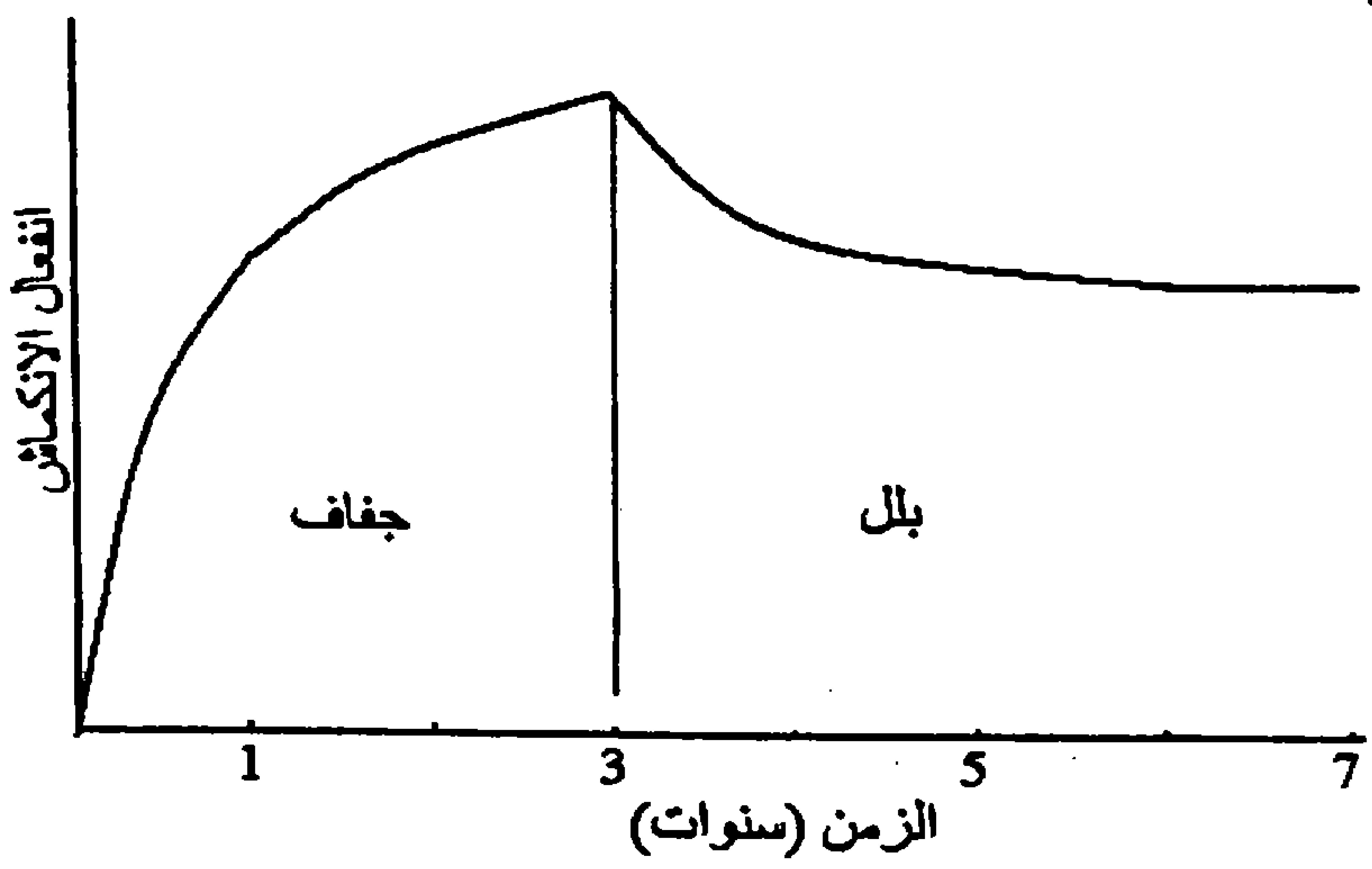
أثبتت الأبحاث أن الركام الصلب قليل الفراغات والامتصاص للماء يحقق انكماش أقل. وقد لوحظ أن غياب الركام يجعل الانكماش عالى للمونة الأسمنتية. كمثال، استخدام ركام بنسبة 44% من وزن الخرسانة يقلل الانكماش إلى 25% من قيمته للمونة الأسمنتية، حيث أن الركام يساعد على تقييد الانكماش الذى يمكن أن يحدث فى المونة الأسمنتيةبالاضافة الي نقص محتوي الماء.

6. نسبة صلب التسليح:

أثبتت الدراسات أن وجود صلب التسليح بالقطاع الخرسانى يقلل من انكماش الخرسانة، لأن معاير مرونة الحديد حوالي 10 أضعاف معاير مرونة الخرسانة. ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أنه يمثل تقييد لحركة الخرسانة مما يولد إجهادات شد فى الخرسانة وضغط فى حديد التسليح.ويجب 'الاهتمام بالمعالجة وخاصة في خزانات الماءحتي لا تتعرض الخرسانة لاجهادات الشد مبكرا والخرسانة مقاومتها في الشد صغيرة في تلك الاعمار0

5-3-9 تمدد الخرسانة:

عندما تكتسب الخرسانة ماء خارجى، فإنه يحدث لها تمدد يعتمد تقريباً على نفس العوامل المؤثرة على الانكماش.وشكل (9-13) يوضح تأثير بلل الخرسانة على منحنى الانفعال مع الزمن.



شكل (9-13) تأثير البلل على منحنى الانكماش للخرسانة

6-3-9 طرق حساب الانكماش :

الطريقة الأولى (طريقة جيمس ليبى):

ويمكن حساب انفعال الانكماش الحرج من المعادلة الآتية التى وُضعت لعضو خرسانى موضوع فى درجة رطوبة نسبية (R.H) = 50 %، والنسبة بين حجم العضو الخرسانى (V)إلى مساحة مقطعة (A) = 38 مم .

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7W - 220) \times 10^{-6} \qquad \text{............ (4–9)}$$

حيث محتوى الماء بالكجم/م^{3}خرسانة = W.

وهذه المعادلة موضوعة لرطوبة نسبية قدرها 50%. ويمكن استخدام معامل تصحيح للرطوبة يضرب فى المعادلة رقم (9 - 4) فى معامل(Ch) لنأخذ تأثير درجات الرطوبة المختلفة ، هذه القيمه تؤخذ من جدول رقم (9 – 1) .

جدول (9-1) معامل الرطوبة (Ch)

الرطوبة النسبية	20	40	50	60	80
C_h	1.6	1.2	1.0	0.8	0.4

ويجب تصحيح المعادلة السابقة لتناسب نسبة الحجم إلى المساحة السطحية بالضرب فى المعامل Cs ، جدول رقم (9–2) ، حيث أن المعادلة موضوعة لنسبة حجم على مساحة تساوى 38 مم.

جدول (9-2) معامل تصحيح الحجم الى المساحة السطحية (Cs)

V/A mm	13	25	38	51	100	152	178	203	229
C_s	1.130	1.100	1.000	0.920	0.780	0.710	0.580	0.535	0.50

وبذلك يكون الانكماش = $e_{ush} \times C_h \times C_s$

الطريقة الثانية (طريقة كود الخرسانة المصرى رقم 203 لعام 2007):

استخدم الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية طريقة مبسطه لحساب الإنكماش وكان لمؤلف هذا الكتاب دور كبير فى هذا وكذلك لحساب الزحف الذى سيتم ذكره لاحقاً .

قام الكود بوضع قيم تقريبيه لإنفعال الإنكماش الحرج كدالة من البعد الإعتبارى للقطاع (B بالمليمتر) ومن الرطوبة النسبيه ولقد أعطيت القيم كما هو موضح فى جدول رقم (9-3) ويقدر البعد الإعتبارى للقطاع B على النحو التالى :

$$B = \frac{2Ac}{Pc}$$

حيث Ac = مساحة مقطع العضو الخرسانى (مم2) .

و Pc = محيط المقطع الخرسانى بالمم .

وتؤخذ القيم من جدول رقم (9-3) وتقسم على 1000 0ومما هو جدير بالذكر أن تلك القيم وضعت لخرسانة منشآت سابقة الإجهاد أى ذات مقاومة عاليه (أكبر من أو يساوى 400

كجم/سم2) ولذلك عند استخدامه لخرسانة متوسطه أوضعيفة المقاومة تضرب القيم المعطاة من الجدول فى 1.30 .

جدول (9-3) قيم استرشادية لانفعال انكماش الجفاف النهائى ($\times 10^{-3}$)

حالة الجو	جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %)			جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %)		
العمر الذى بدأ بعده الإنكماش	البعد الإعتبارى للقطاع B مم			البعد الإعتبارى للقطاع B مم		
	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من أو تساوى 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من أو تساوى 200
3-7 أيام	0.31	0.38	0.43	0.21	0.23	0.26
7-60 يوم	0.30	0.31	0.32	0.21	0.22	0.23
أكثر من 60يوم	0.28	0.25	0.19	0.20	0.19	0.16

* فى حالة اختلاف الرطوبة النسبيه عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم انفعال الإنكماش بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا فى حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

مثال (1):

كوبرى بحره 80 متر ومقطعه كما فى شكل(9-14) انشا فى منطقة رطوبتها النسبية 60 % ومقاومة الضغط للمكعب = 400 كجم /سم2 ومحتوى الماء للخلطة =170 كجم/م3 المطلوب حساب انفعال الانكماش بعد سنة اذا علم ان مدة المعالجة 7 ايام 0 استخدم الطريقتين السابقتين

الحل:

طريقة جيمس ليبى .

بالتطبيق فى المعادلة رقم (9-2) يتضح ان

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7 * 170 - 220) \times 10^{-6}$$

$611 * 10^{-6}$

مساحة المقطع = 2.70×10^{6} مم^2 = Ac

الحجم = مساحة المقطع × 80000

المحيط = 19.2×100 مم^3 (Pc)

المساحة السطحية = المحيط × 80000

$$\frac{V}{A} = 2.7 \times 610 / 19.2 \times 310 = 140$$

من جدول (9-1) ، (9-2) يكون Ch = 0.80 ، Cs = 0.72

$$e_{ush.} = 611 * 0.8 * 0.72 = 352 * 10^{-6}$$

طريقة الكود .

$$B = \frac{2 * 2.7 * 10^{-6}}{19.2 * 103} = 281 mn$$

لرطوبة 55% $e_{ush} = 380 * 10^{-6}$

لرطوبه 75% $e_{ush} = 230 * 10^{-6}$

e_{ush} لرطوبه 60 % = $340 * 10^{-6}$

ويلاحظ أن طريقة الكود أعطت نتيجه قريبه من الطريقه الدقيقه .

e_sh 1 year / e_{ush} = 0.157(ln 365-0.1151) = 0.9 e_{ush}

e_sh 1 year = 209 * 10^{-6}

مثال (2):

لنفس المسألة السابقة إفترض أن مقاومة الضغط 200 كجم/سم^2 وأن محتوى الماء 220 كجم/م^3 .

e_{ush} = 936 * 10^{-6} (الطريقه الاولي)

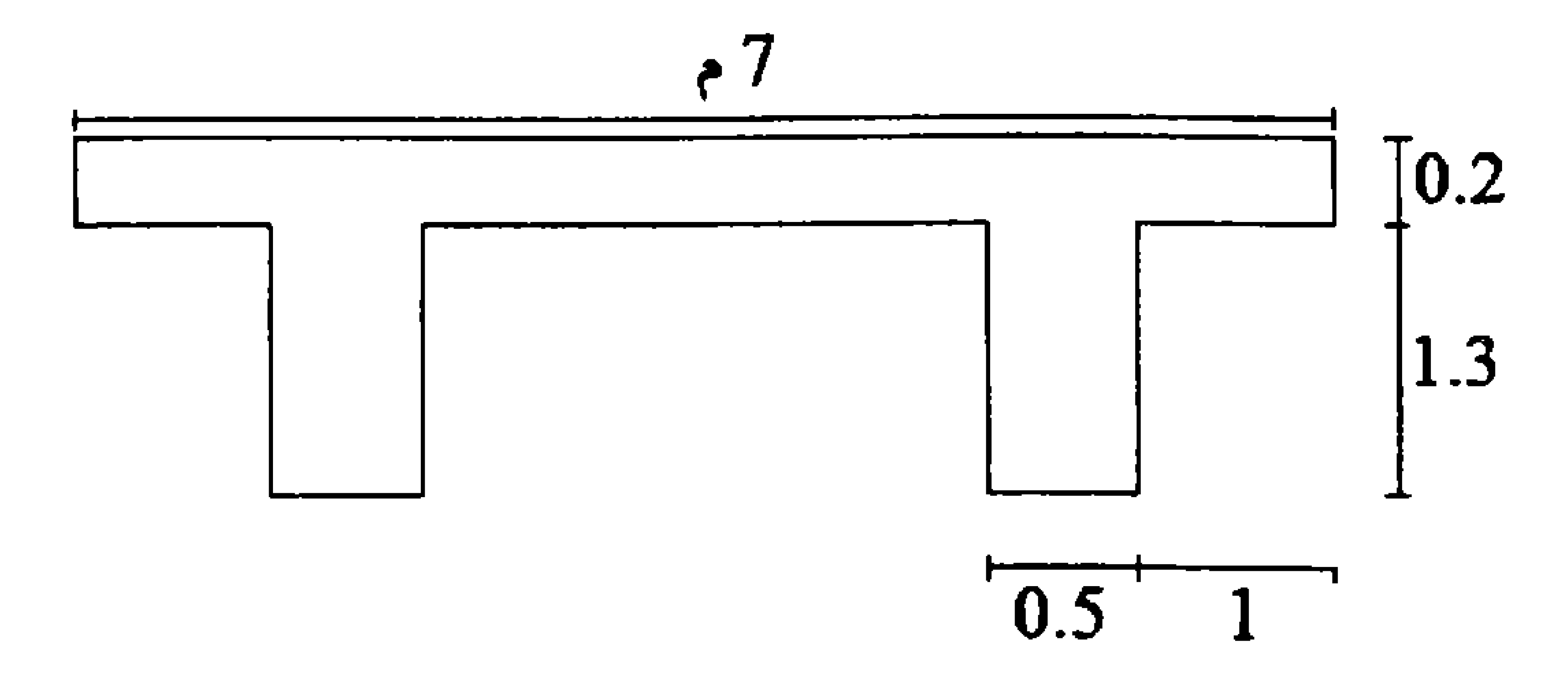
e_{ush} = 936 * 0.8*0.72 = 539.14 * 10^{-6}

(طريقه الكود)

بالنسبة للكود هذه خرسانه مقاومتها منخفضه .

e_{ush} = 340 * 1.3 = 442 * 10^{-6}

وهذا يوضح أن طريقة الكود تقريبيه فى حالة الخرسانه منخفضة المقاومة



شكل (9-14) قطاع فى الكوبرى الخرسانى

9-4 زحف الخرسانة (Creep of Concrete):

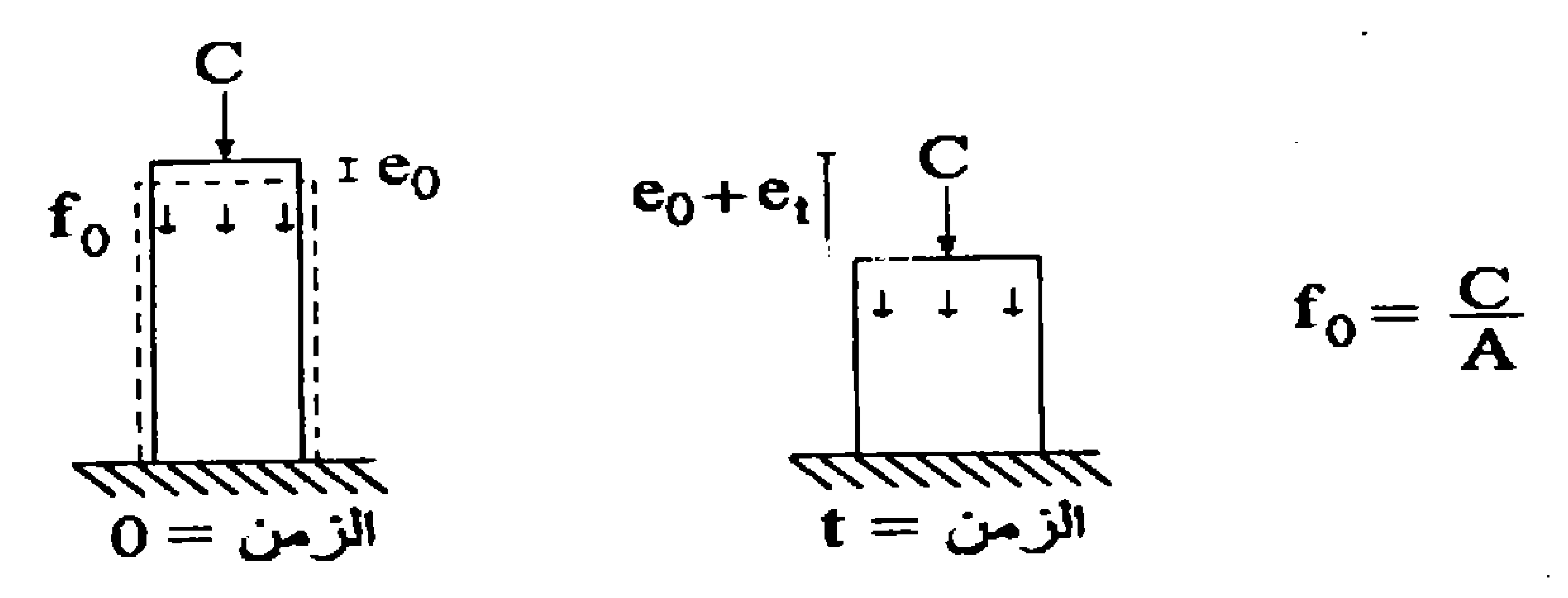
9-4-1 عام

عند دراسة كمرة خرسانية معرضة لحمل مركز، كما فى شكل (9-15- ب)، سنجد أنه بمجرد وضع الحمل يحدث ترخيم. وبمرور الزمن t، نجد أن الترخيم زاد. وبدراسة عضو معرض لحمل ضغط C يولد إجهاد أولى F0، فإنه يحدث انفعال لحظى e_0 ، شكل (9-15- أ). وبتسجيل الانفعال خلال أزمنة لاحقة مع ثبات الحمل، نجد أن الانفعال يزيد مع الزمن. وبرسم الانفعال المسجل مع الزمن، نحصل على علاقة شبيهة بالشكل (9-15- ج). ويلاحظ أنه بعد فترة قد تصل إلى 3 سنوات، نصل إلى قيمة حرجة للانفعال. ويلاحظ أن الانفعال المعتمد على الزمن يطلق عليه الزحف. ويمكن حساب انفعال الزحف الحرج (e_{cu}) من العلاقة التالية:

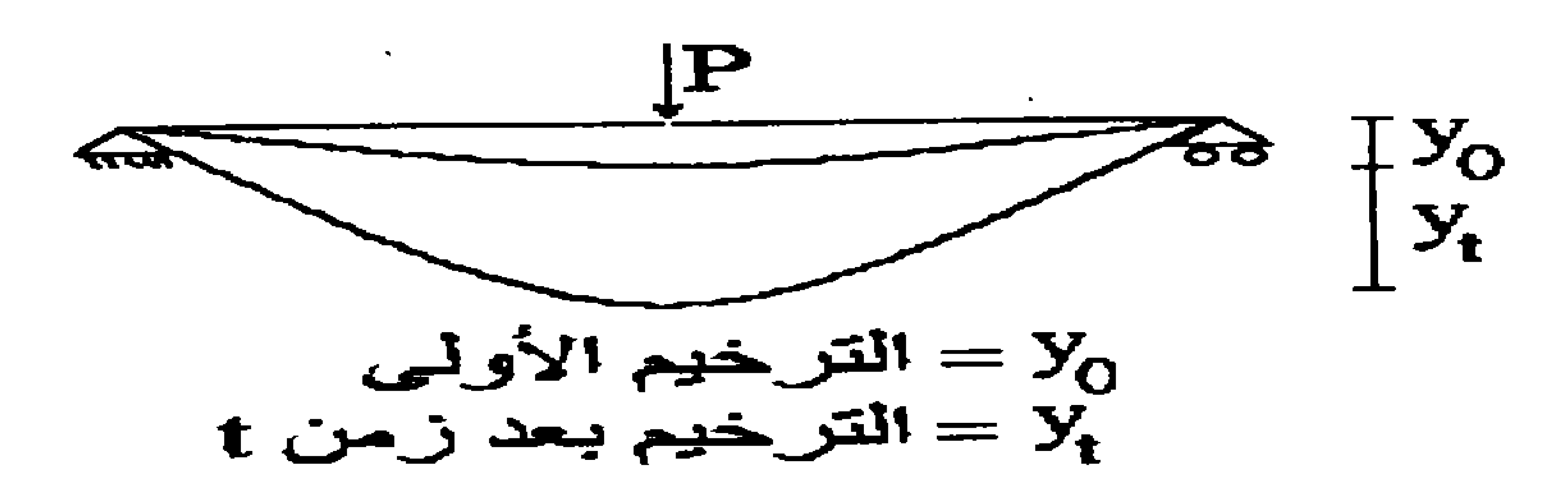
$$\frac{e_{cu}}{e_0} = \phi$$

حيث e_0 = الانفعال اللحظى

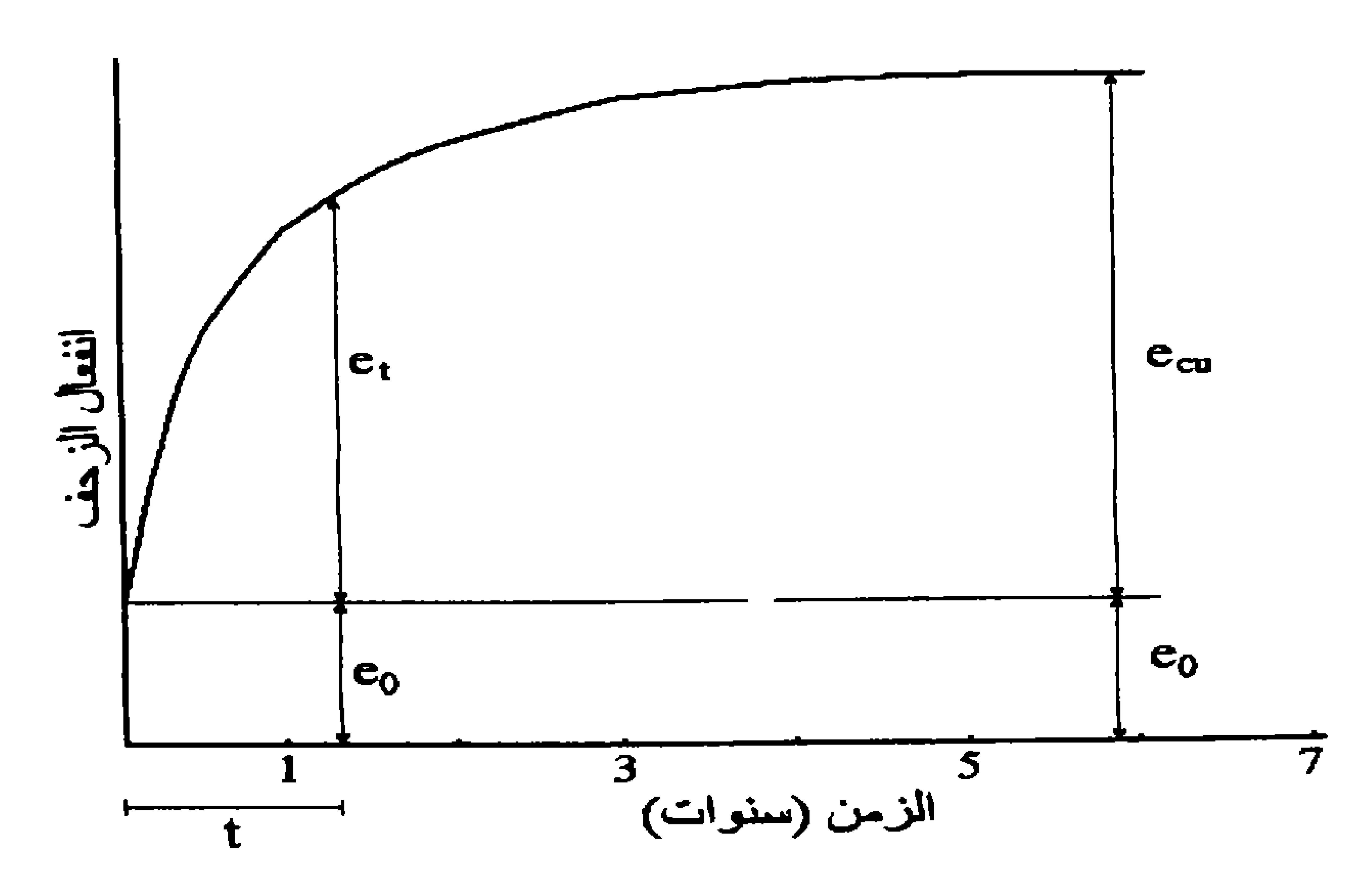
ϕ = نسبة الزحف (معامل الزحف) ، وقد تصل هذه النسبة إلى 4.00، وهذه النسبة تحدد طبقاً لظروف التحميل الأولية والظروف الجوية المحيطة وخواص الخرسانة.



شكل (9-15- أ) ميكانيكا الزحف فى الضغط



شكل (9-15- ب) ميكانيكا الزحف فى الإنحناء



شكل (9-15- ج) العلاقة بين الإنفعال والزمن فى الزحف

شكل (9-15) ميكانيكا الزحف

9-4-2 أهمية دراسة الزحف:

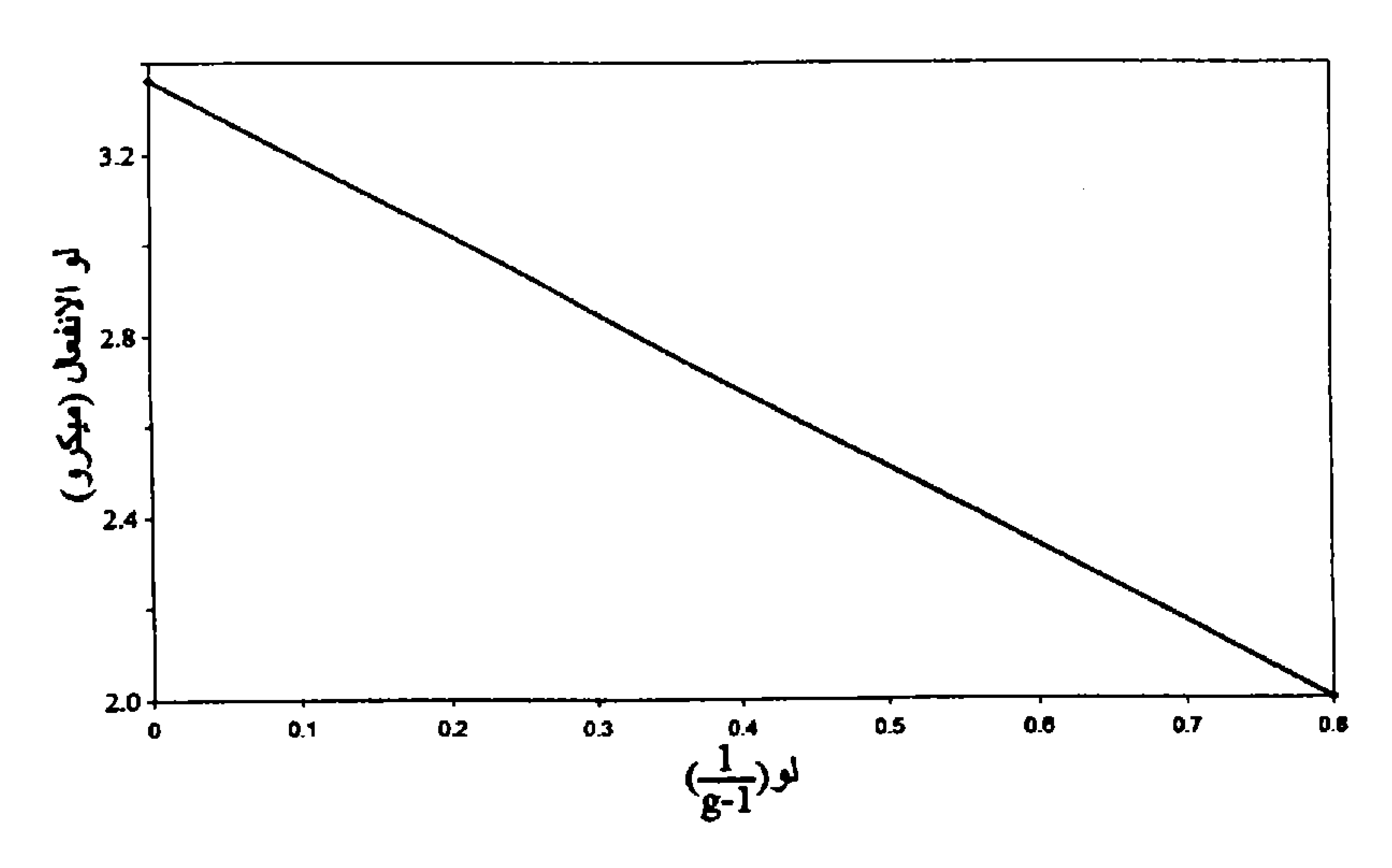
إن تحديد الزحف يساعد المهندس عند اعتباره على أن يحصل على أعضاء ذات تشكل على المدى البعيد مسموح به. وذلك بحساب القطاع الذى يحقق ذلك. ويستفيد المهندس من حسابات الزحف فى تصميم الخرسانة سابقة الإجهاد التى تفقد جزء من إجهاد الضغط المخزن بها نتيجة زحف الخرسانة.

9-4-3 العوامل المؤثره على الزحف :

إجمالاً يمكن القول أن العوامل المؤثره على الإنكماش تؤثر بطريقة ما على الزحف وسنستعرض فى مايلى أهم هذه العوامل .

1 - محتوى الركام :

أثبتت الدراسات التى قام بها آدم نيفل أن عجينة الأسمنت تتعرض نتيجة الإجهاد الثابت مع الزمن لقدر صغير من الزحف وكلما زاد محتوى الركام فى الخرسانه يزيد الزحف ولم يفسر نيفل تلك الظاهره ويرى الكاتب أن العجينة بها نسبة عالية من C-S-H وهذه الماده بها ماء داخلى غير قابل للتشكل فتقلل الزحف بها . اما فى وجود الركام فغالباً مايعطى سطح الاتصال بين الركام وبين العجينه فرصه لتجميع وخروج الماء بنظرية الانتشار وشكل (9-16) يوضح أنه بزيادة حجم الركام يزيد انفعال الزحف .



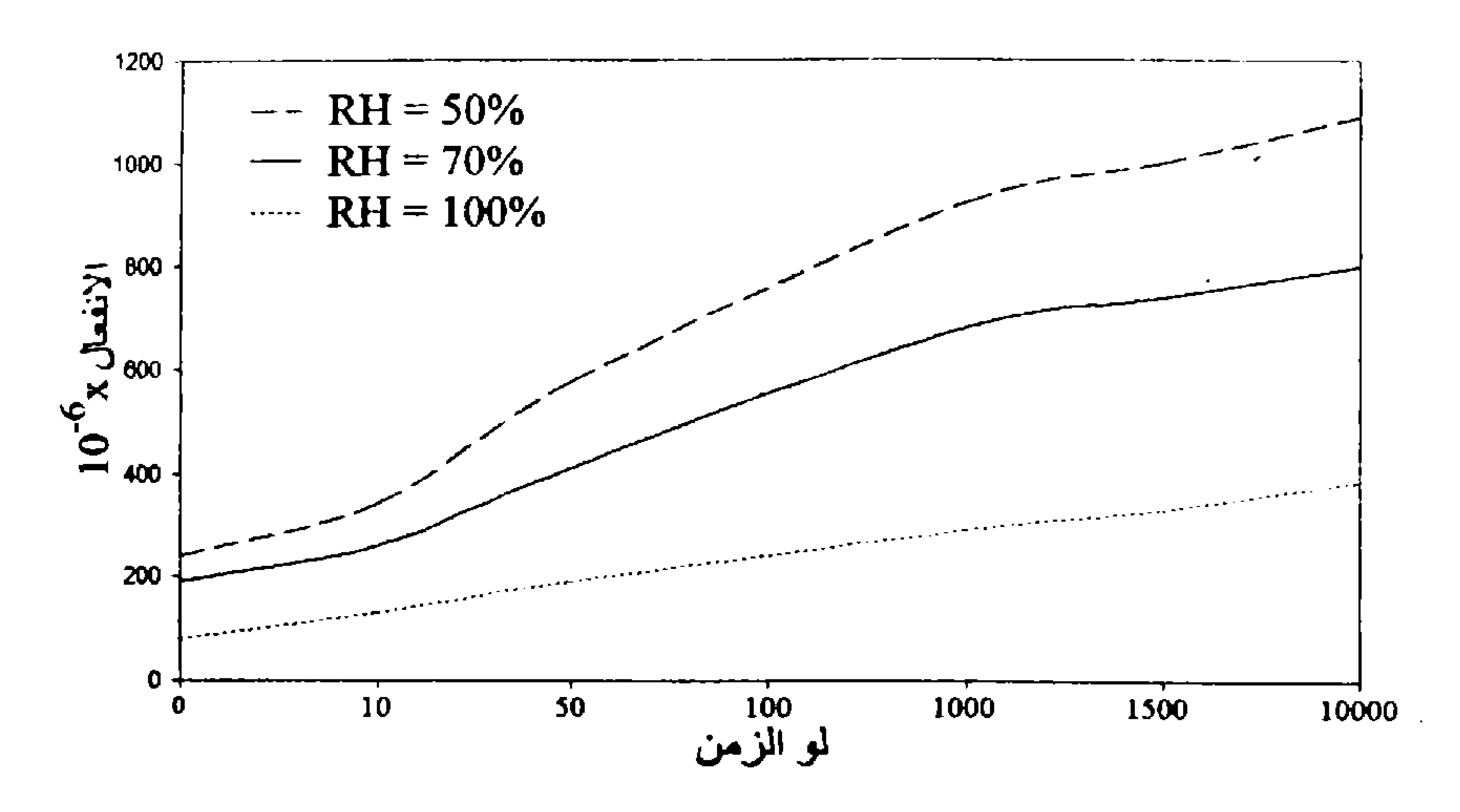
شكل (9-16) تأثير نسبة حجم الركام بالنسبة لحجم الخرسانه (g) على انفعال الزحف الحرج

2 - نوع الركام :

أثبتت الدراسات أن خرسانة كسر الأحجار الرمليه أعطت أعلى قيم للزحف ولذلك لايفضل استخدامها فى الخرسانة وقد أوضحت الدراسات أن زحف الأحجار الجيريه أقل من زحف خرسانة الزلط والبازلت .

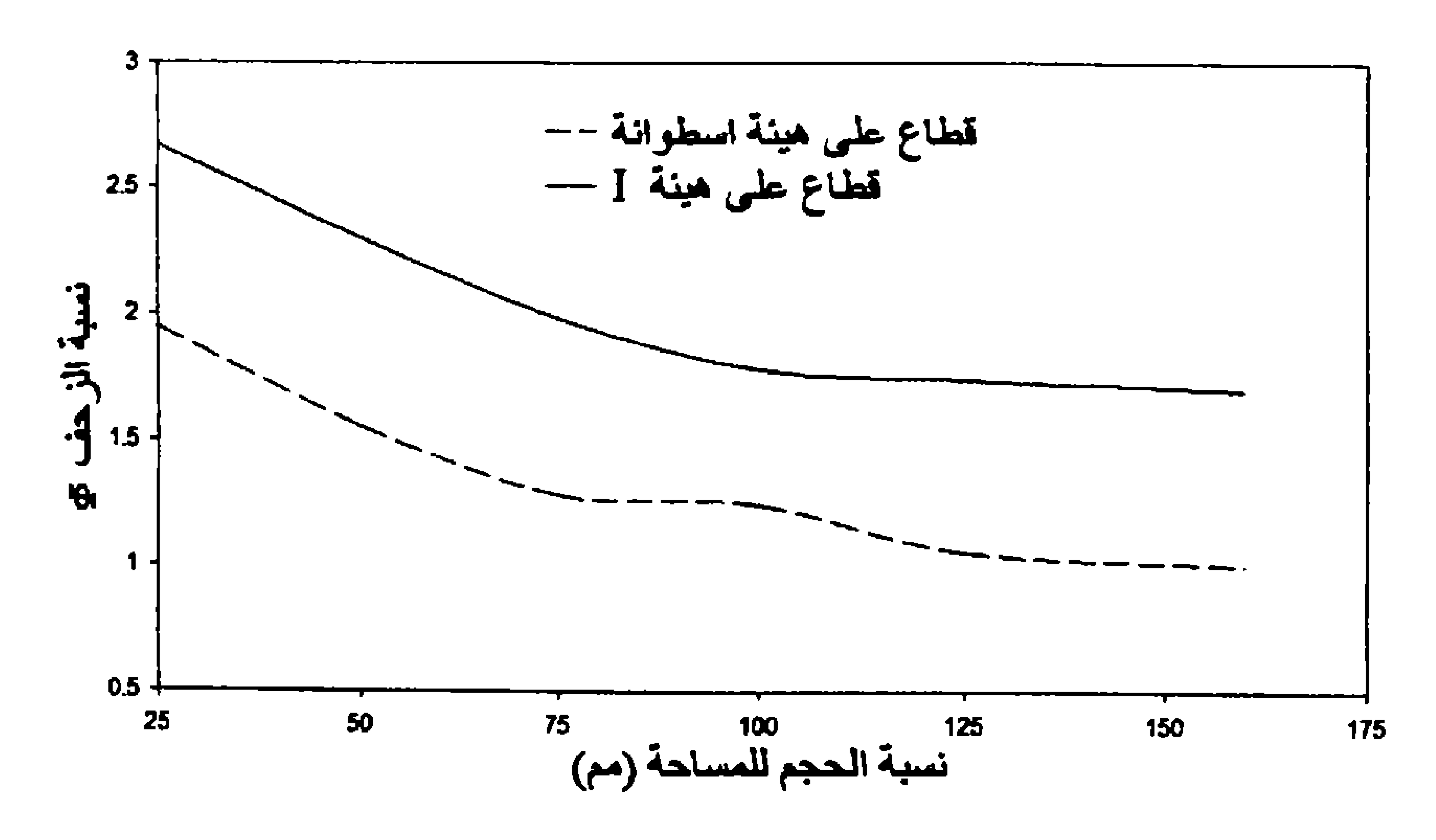
3 - الرطوبه النسبية .

كلما زادت الرطوبه النسبيه يقل انفعال الزحف الحرج كما هو واضح من شكل رقم (9-17) ومن المهم ملاحظة أنه عند رطوبه نسبيه قدرها 100% فإن الزحف لاينعدم ولكن يكون بقيمه صغيره وهذا يؤكد أن الزحف ينتج من التضاغط الحادث بين وفى مكونات الخرسانه .



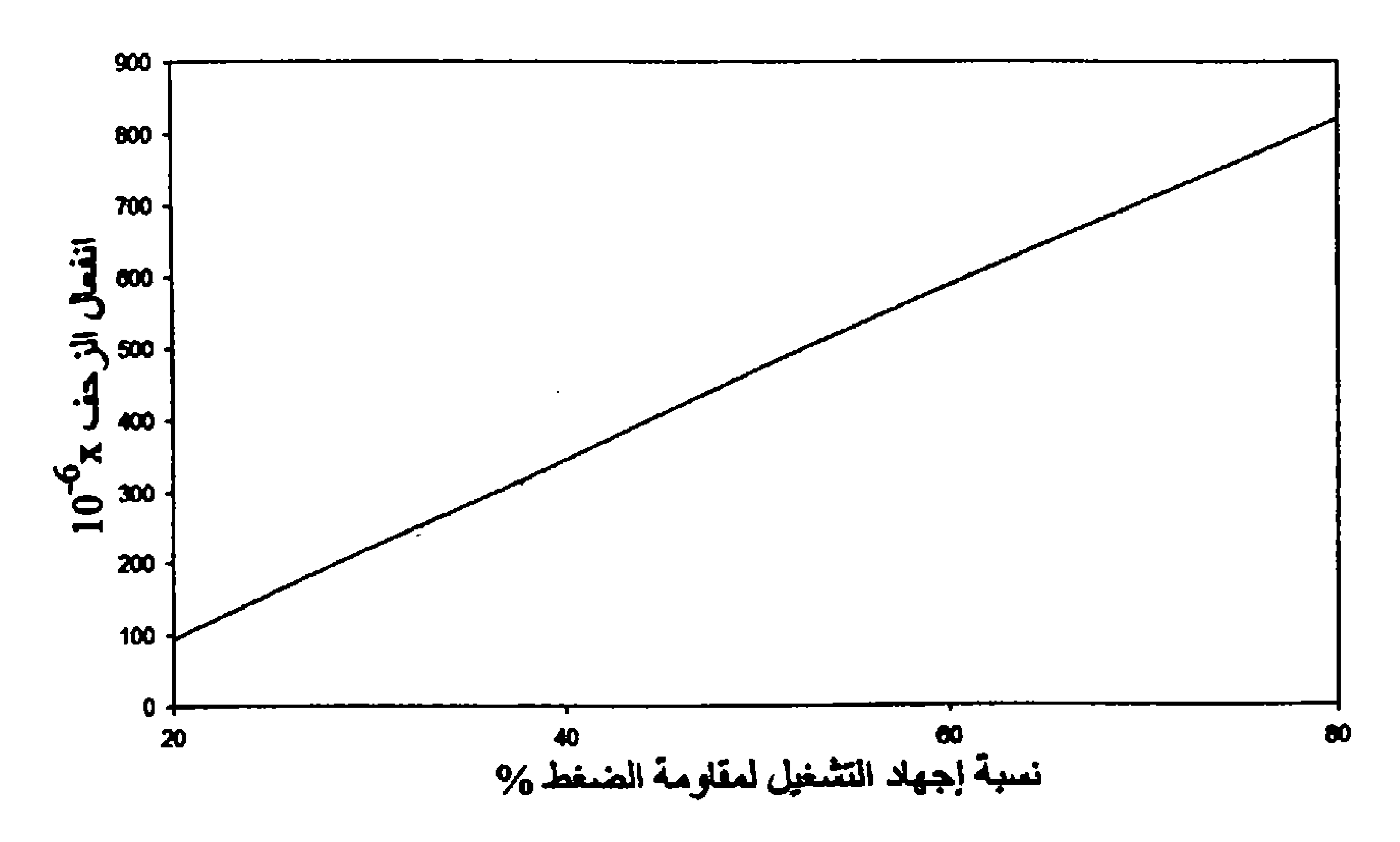
شكل (9-17) تأثير الرطوبه النسبيه على الإنفعال الحرج للزحف

3 ـ شكل العضو (نسبة الحجم للمساحه السطحيه V/A)
شكل (9-18) يوضح أنه كلما زادت نسبة V/A يقل الزحف ويلاحظ أنه لنفس نسبة V/A فان زحف العينات على هيئة حرف I أكبر من زحف العينات الإسطوانية .



شكل (9-18) تأثير نسبة الحجم للمساحه على نسبة الزحف على قطاعات بأشكال مختلفة

4 ـ اجهاد التحميل بالنسبة لمقاومة الضغط .
أثبتت الدراسات أن هذا العامل مهم جداً وقد وجد أنه كلما زاد اجهاد التحميل الأولى بالنسبة للمقاومة يزيد الزحف كثيراً لأنه سوف يزيد الإنفعال الإبتدائى وشكل (9-19) يوضح أن هناك تناسب بين نسبة الإجهاد الى المقاومة والزحف ولذلك فان الإنفعال الأولى معبر جيد عن هذه النسبه .

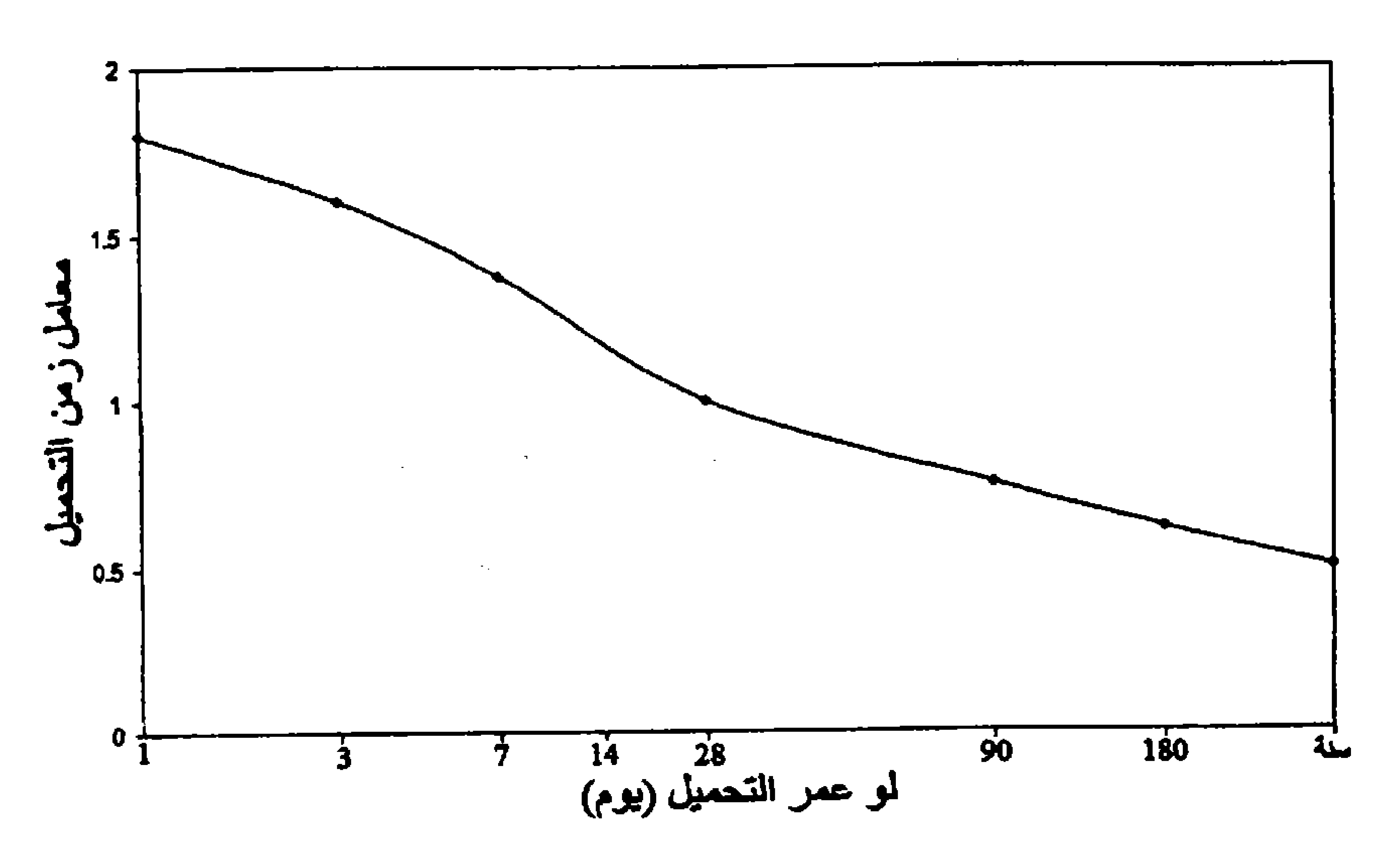


شكل (9- 19) تأثير نسبة اجهاد التشغيل لمقاومة الضغط على انفعال الزحف الحرج

5 - زمن تحميل المنشأ Creep maturity coefficient

أثبتت الدراسات والأبحاث أن تحميل الخرسانه فى عمر مبكر عن عمر 28 يوم يؤدى الى زيادة الزحف وشكل (9-20) يوضح تأثير زمن التحميل بالنسبة لعمر 28 يوم على زحف الخرسانه ومن هذا الشكل يتضح أن التحميل المتأخر يقلل الزحف لأنه يعطى فرصه لتكون C-S-H وحالياً أمكن استخدام أسمنتات ناعمة واضافات تعجل من المقاومة المبكره ولذلك يفضل التعبير عن تاثيرالمقاومة عند زمن التحميل (f_{cut}) ومقاومة الضغط f_{cu} عند 28 يوم بمعامل التحميل (Creep maturity coefficient M_{mt}) ويحسب باستخدام المعادلة التاليه :

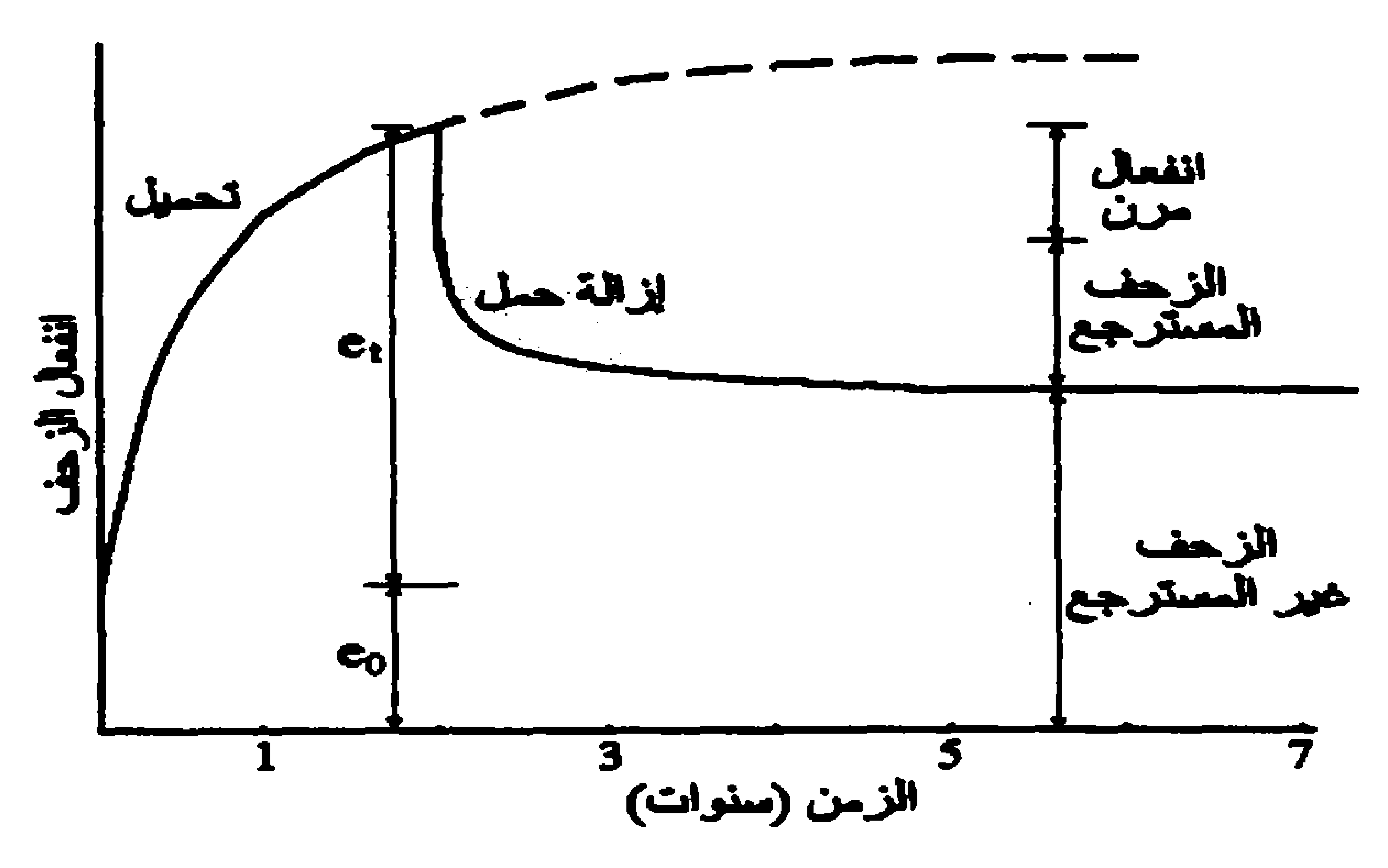
$$M_{mt} = 1.8-1.8(f_{cut} / f_{cu}\ 28\ \ - 0.375) \qquad \text{............ (5–9)}$$



شكل (9-20) العلاقة بين العمر الذى يبدأ عنده التحميل ومعامل زمن التحمل

9-4-4 تأثير إزالة الحمل على الزحف:

لوحظ كما بشكل (9-21) أنه عند إزالة الحمل، أن جزء من انفعال الزحف يتم استرجاعه ، والآخر يظل غير مسترجع. ويتوقف ذلك على مستوى الإجهاد الواقع على العضو وهذه الظاهره مفيده جداً لأنه يمكن إزالة عدد من طوابق مبنى معرض للإنهيار فيتحسن سلوك المبنى وتقل انفعالاته ويتم ترميمه وتدعيمه .



شكل (9-21) تأثير إزالة الحمل على الزحف

9-4-5 طرق حساب الزحف .

سنستعرض هنا طريقتين الأولى من المراجع القديمه والثانية من كود الخرسانه المصرى .

1 ـ الطريقه الأولى (جيمس ليبى)

تقاس الرطوبة النسبية للموقع أو تؤخذ من الأرصاد الجوية على مدار عدة سنوات وان لم تكن موجوده يستخدم جدول (9-4) .

جدول رقم (9-4) قيم الرطوبه النسبية التقريبيه .

ظروف الموقع	نسبة الرطوبه النسبيه التقديريه %
فى الماء	100
قريب جداً من كميه كبيرة جداً من الماء	90
قريب من الماء مثل وديان الأنهار ومنطقة الدلتا	70
الجو القريب من الجفاف	50
الجو الحار والمبانى المغلقة التى تسخن فى الشتاء	35

تحدد نسبة الزحف Φ من المعادلتين التاليتين للخرسانة عالية المقاومة :

Φ (القصوى) = 1.25 + 2.75 ((100- RH) / 65). .... (9–6)

Φ (الدنيا) = 0.75+ 0.75 ((100- RH) / 50) . ... (9–7)

وتستخدم المعادلتين التاليتين فى الخرسانة عادية المقاومة :

Φ (القصوى) = 2.00 + 2.00 ((100- RH) / 50) .... (8_9)

Φ (الدنيا) = 1.00 + ((100- RH) / 50) .... (9_9)

تحدد معاملات تصحيح للمعادلات السابقة بحيث تناسب مقاس القطاع (C_s) كما هو مذكور بالجدول التالى (9-5) ومعامل تصحيح معامل التحميل M_{mt} (معادلة 9 – 5) .

جدول (9-5) معامل تصحيح مقاس القطاع لنسبة حجم الى مساحة سطحية مختلفه (Cs) .

250	229	203	178	152	127	102	76	51	25	V/Amm
1.00	1.01	1.03	1.06	1.1	1.14	1.2	1.3	1.44	1.7	Cs

تحسب نسبة الزحف الحرجه Φ_u من المعادلة التالية .

$$\Phi u = \Phi * Cs * M_{mt}$$

2 - طريقة كود الخرسانة

يعطي الكود قيم استرشادية لنسبة الزحف كدالة من الرطوبة النسبية ومقاس القطاع (البعد الإعتبارى) كما هو مذكور فى بند الإنكماش وكدالة كذلك من العمر الذى يبدأ بعده التحميل وتلك القيم موضحه فى جدول رقم (9-6) .

فى حالة الأعضاء التى تتعرض الى قوة ضغط محورية تؤدى الى اجهاد نسبتة بالنسبة الى مقاومة الخرسانة تزيد عن 0.33 فإنه يجب زيادة الزحف بمعامل ά معطى قيمة بجدول (9-7) بفرض وجود علاقة خطية بنسبة تحميل 0.33 و 0.50

جدول (9-6) قيم استرشادية لمعامل الزحف النهائى Φ

جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %)			جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %)			حالة الجو
البعد الإعتبارى للقطاع B مم			البعد الإعتبارى للقطاع B مم			العمر الذى بدأ بعده التحميل
B أقل من أو تساوى 200	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من أو تساوى 200	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أكبر من أو تساوى 600	
2.70	2.40	2.10	3.80	3.20	2.90	3-7 أيام
2.20	2.00	1.90	3.00	2.80	2.50	7-60 يوم
1.40	1.60	1.70	1.70	1.90	2.00	أكثرمن 60يوم

* فى حالة اختلاف الرطوبة النسبيه عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم معامل الزحف بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا فى حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

جدول (9-7) قيمة معامل التصحيح بدلالة نسبة الإجهاد العمودى للمقاومة .

0.5	0.4	0.33	نسبة الإجهاد للمقاومة
1.25	1.1	1.00	ά

9 – 4 -6 الزحف لأعضاء الخرسانة المسلحه :

نظراً لأن صلب التسليح لا يزحف فى درجات الحراره العادية فان زحف الخرسانة المسلحه e_{us} يقل عن زحف الخرسانة e_u بقيمه قدرها (e_{us} - e_u) وينشأ عن هذا التقييد اجهاد ضغط فى الصلب واجهاد شد فى الخرسانه قيمته تتوقف على معاير المرونه للخرسانه والصلب .

4-9 – 7 أهمية حسابات الزحف :

- يتم حساب الزحف ليؤخذ فى الإعتبار فى حساب سهم الإنحناء للأعضاء المعرضه للإنحناء كما يلى :

$y = yo(1+\Phi)$.

حيث y_0 هو الترخيم اللحظى و y هو الترخيم النهائى بعد الزحف

- يحسب انفعال الزحف فى الأعضاء الخرسانية سابقة الإجهاد فى منسوب صلب سبق الإجهاد نتيجة تعرضها لإجهاد قدره f_0 . ثم نحسب الفواقد فى اجهاد صلب التسليح بضرب انفعال الزحف فى معاير مرونه الصلب .
- يساعد دراسة الزحف فى توقع حدوث الإنهيار فى الأعمده الخرسانية كما سيلى فى الأمثلة التالية

أمثلة :

مثال (1):

كمره كابولية خرسانية بحرها 3.00 متر مصنوعه من خرسانة مقاومتها فى الضغط 400 كجم/سم^2 وقطاعها مستطيل 1.00 × 0.15 م وتتعرض لحمل مركز قدره 3طن إحسب الهبوط الأقصى اذا كانت الرطوبة النسبية = 55 % وتم التأثير بالحمل بعد 7 أيام من الصب عند مقاومة 300 كجم/سم^2 إفرض أن $Ec = 200\ t/m^2$

الطريقة الأولى :

الخرسانة جيدة المقاومة بإستخدام المعادلتين (9-6) ، (9-7)

$\Phi\ max = 1.25 + 2.75\ (0.69) = 3.10$

$\Phi\ min = 0.75 + 0.825 = 1.60$

$\Phi\ av = 2.35$

المساحة السطحية = 2300 × البحر مم^2 .

الحجم = 1000 × 150 × البحر مم .

V/A = 2300/150000 = 65

جدول رقم (9-5) CS = 1.36

بفرض أن القطاع غير مشرح

$Mmt = 1.8 – 1.8\ (300/400-0.375)$

$Mmt = 1.8 – 1.8\ (0.75-0.375)= 1.125$.

$\Phi = 2.35 * 1.36 * 1.125 = 3.6$

$I = 1.0(0.15)3 / 12 = 2.8125 *10^{-4}\ m$

$y_0 = Pl^3 / 3E_cI$.

$$= \frac{3.0 * 3^3}{3 * 200 * 2.8125} * 10 = 0.48 cm$$

$y = 0.48\ (1+3.6) = 2.21cm$

$$= \frac{2*1000*150}{2300} = 130mm$$

من جدول (9-6)

$\Phi = 3.8$ $y = y0\ (4.8) = 2.30\ cm$

بمقارنـة النتيجـه نجد كيف أن الكود المصرى سـهل ويعطـى قيمـة متقاربـه مـع الطريقـة الأولـى للخرسانة عالية المقاومة .

مثال (2)

عمود قطاعة 0.4 × 0.4 ومقاومة الخرسانه 300 كجم/سم2 إحسب إحتمـال الإنهيـار السريع اذا حمـل بالإجهـادات التاليـة 60 ، 100 ، 150 ، 250 كجم/سـم2اذا علـم أن انفعـال الإنهيـار (e_u) 3500×10^{-6}

. إستخدام طريقة الكود اذا تم تحميل العمود بعد اسبوع من الصب .

الحل :

نفرض أن معاير المرونه للخرسـانه ثابت لجميع الإجهـادات 300 طـن/م^2 وبإهمـال تـأثير صـلب التسليح

$$B = 2*\frac{400*400}{4*400} = 200$$

$\Phi = 3.8$

$$e_{uc} = \frac{f0}{E}(1+\phi)*10^{-6} = \frac{4.8}{300}f0 = 0.016*f_0$$

حيث e_{uc} الإنفعال الحرج الناتج فى الأعمده عند اجهادات مختلفه وتلك الحسابات موضحه بالجدول التالى :

جدول (9-8) حسابات المثال السابق .

0.25	0.15	0.10	0.06	الإجهاد بالطن /سم^2
0.83	0.5	0.33	0.2	f_0/f_{cu}
1.25	1.25	1	1	α
980	3000	1600	960	$e_{uc}10^{-6}$
> 1.0	0.85	0.450	0.27	e_{uc}/e_u

- فى حالـة الإجهاد 60 كجم/سم^2 يلاحظ أن الإنفعـال الحـرج بعد اعتبـار الزحـف أقل كثيراً من اجهاد الإنهيار وهو 3500×10^{-6} ولذلك لاخطوره على العمود فى تلك الحاله .
- فى حالة اجهاد قدره 100 كجم/سم^2 نجد أن النسبة بين الإنفعالين وصلت لـ 0.45 وهذا يعنى أن العمر للمبنى سيقل .
- فى حالة اجهاد 150 كحم/سم^{2}وصلت النسبة الى0.85 وهذا يعنـى أن المنشأ سيتعرض لمشاكل خلال سنوات قليله .
- فى حالة اجهاد 250 كجم /سم^2 فإنـه اذا ترك المبنـى ليزحـف فبعد فتره وجيزه سينهار المنشأ لتخطى الإنفعال الإنفعال الأقصـى ولهذا نجد أن كود الخرسانة يشترط ألا يزيد الإجهـاد المسموح به لهذه الخرسانه فى الأعمده عن 60 كجم /سم^2 ويجب علـى المهندسين عدم تعليـة أيـة منشآت ولقد أثرت اعطاء هذا المثال لأوضح مدى الخطوره ومن المهم التأكيد علـى الـدور الجيد لصلب التسليح لتقليل آثار الزحف .

الباب العاشر
اختبارات الخرسانة المتصلدة (Testing of Hardening Concrete)

10ـ1 مقدمة:

اختبارات الخرسانة المتصلدة من أهم اختبارات الخرسانة. وجرى العرف على اعتبار مقاومة الضغط المعيار الأساسى لجودة الخرسانة. ويمكن عن طريق مقاومة الضغط استنتاج المقاومات الأخرى مثل مقاومات الشد والانحناء والقص وغيرها. وفيما يلى سيتم عرض الاختبارات التى تجرى على الخرسانة المتصلدة.

10ـ2 طريقة تحضير مكعبات الإختبار من الخرسانة الطازجة وتحديد مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية

Preparation of concrete Test Cubes and Determination of Cube Compressive Strength

10 -2 -1 طريقة أخذ عينات الخرسانة الطازجه بالموقع

تختص هذه الطريقه بأخذ عينات الخرسانه الطازجه اللازمه لجميع اختبارات الضغط والإنحناء والشد واختبارات الخرسانه الطازجه . يتم أخذ عينة خرسانة من الجزء الأوسط من الخلاطه الحجمية أو من العربة الناقله للخرسانة بحيث يستبعد الجزء الأول والأخير وتؤخذ العينة بجاروف الغرفه الواحده منه تأخذ كمية من الخرسانه حوالى 5 كيلو جرام وتوضع العينة فى وعاء قياسى من ماده لاتصدأ لايقل سعته عن 9 لتر ويجب أن تكون العينه بحجم يكفى لصب العينات المطلوبه والحرص على حمايتها من الشمس والرياح ويجب تسجيل شهاده بمعلومات وبيانات هذه العينه وتاريخ أخذها .

10-2-2 مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية

ـ تصف هذه الطريقه تحضير مكعبات قياسيه من الخرسانه الطازجة لتحديد مقاومة الضغط عند أعمار مختلفه ويجب أثناء ملأ القالب إستبعاد أى ركام يزيد مقاسه عن 40 مم .

ـ يجب أن يكون القالب مصنوع من الحديد الزهر أو الصلب بحيث يكون القالب قياسى من جهة أبعاده (150مم $\pm$ 0.15 مم) وصلادة مادته وإستواء أسطحه ويجب أن يكون القالب مكون من جزئين ولايستخدم أى قالب مكون من أكثر من جزئين . يدهن القالب بماده تمنع التصاق الخرسانه بالقوالب .

ـ تجهز سطح أفقي سواء فى المعمل أو الموقع .

ـ تؤخذ عينه من الخرسانة بالطريقه القياسيه المذكوره سابقاً وتخلط فى إناء قياسى بطريقه قياسية .

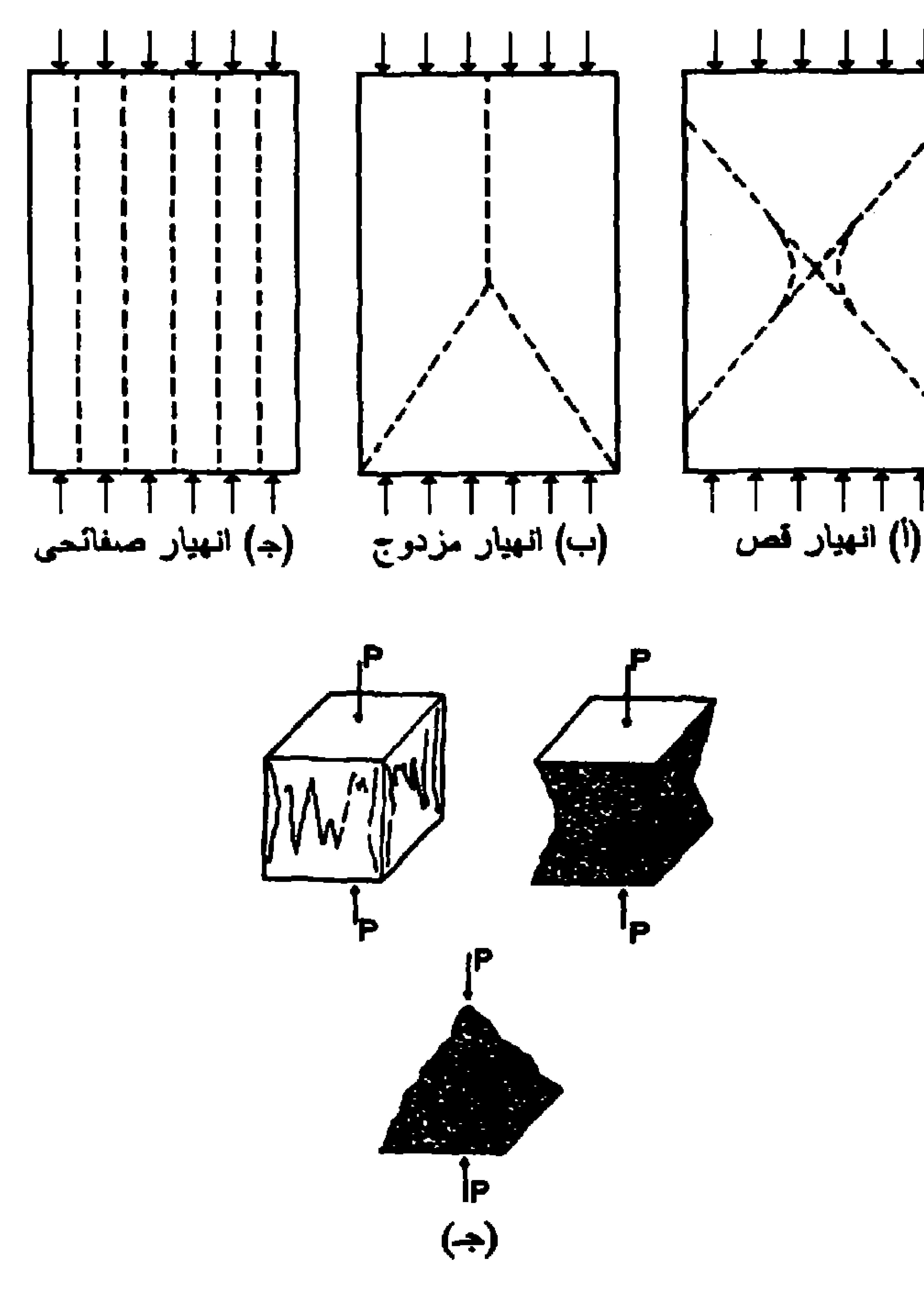
ـ يتم صب الخرسانة فى المكعب على ثلاث طبقات إرتفاع الطبقه 50 مم ويتم دمك كل طبقه بواسطة قضيب دمك قياسى (وزنه 1.8 كجم وبطول 380مم بمقطع مربع طول ضلعه 25 مم) بـ 30 دمكه على الأقل ويمكن إستخدام منضده هز على أن يتوقف الدمك عند صعود الماء لسطح الخرسانه.

ـ تحفظ العينات بعيداً عن الشمس أو الرياح ويتم فك القوالب بعد 24 ساعه من الصب ويتم البدأ فى المعالجه القياسيه .

– عند عمر الإختبار المطلوب (3 ، 7 ، 28 يوم) يتم مسح وجهى التحمي وتسجل حالة رطوبة العينه (جافه أو جافه فى الفرن أو رطبه) .
– يتم وضع المكعب فى مركز لوحى فكى ماكينه إختبار الضغط الهيدروليكيه (المعايره)
– يتم التأثير بمعدل قياسى (يتم إختبار المكعب فى زمن من 60 : 90 ثانية)
– ويحدد الحمل الأقصى الذى يحدث عنده الكسر F (كيلو نيوتن) .

– مقاومة الضغط للمكعب = $\frac{F}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{1000 \times F}{150 \times 150}$ = ن/م^2

– شكل الانهيار فى الضغط سواء العينات المكعب أو الاسطوانة موضح بشكل (10–1).



شكل (10–1) أشكال الانهيار فى اختبار الضغط

– وفى حالة استخدام عينات غير قياسية (مكعب 15×15×15)، فإنه يلزم تحديد مقاومة الضغط بضرب نتائج الاختبارات فى معاملات تصحيح الشكل والأبعاد كما فى الجدول التالى:

شكل القالب	أبعاد قالب الاختبار (سم)	معامل التصحيح
مكعب	10×10×10	0.97
مكعب	15×15×15 أو (15.8×15.8×15.8)	1.00
مكعب	20×20×20	1.05
مكعب	30×30×30	1.12
اسطوانة	20×10	1.20
اسطوانة	30×15	1.25
اسطوانة	50×25	1.30
منشور	30×15×15 أو (31.6×15.8×15.8)	1.25
منشور	45×15×15أو (47.4×15.8×15.8)	1.30
منشور	60×15×15	1.32

10ـ3 طريقة تحضير أسطوانات الإختبار من الخرسانة الطازجه وتحديد مقاومـة الـضغط للإسطوانه

Preparation of Concrete Test Cylinder and Determination of Cylinder Compressive Strength

أولاً : تحضير وصب الإسطوانات :

ـ تستخدم إسطوانات قطرها 150 مم وإرتفاعها 300 مم أو إسطوانات قطرها 100مم وارتفاعها 200 مم سواء لتحديد مقاومة الضغط أو مقاومة شد الإنفصال ولايزيد المقاس الإعتبارى الأكبر عن 20 مم أو 40 مم فى حالة إسطوانه قطرها 100 مم أو 150 مم على الترتيب .

ـ يجب أن تكون الإسطوانة مصنوعه من قالب قياسى معدنى سواء فى الأبعاد أو الصلاده أو رأسيه محور الإسطوانه 0.

ـ تصب الإسطوانه بنفس طريقه صب المكعب على أن يتم صب الخرسانه على طبقات سمك كل طبقه 50 مم مع دمك كل طبقة بقضيب الدمك القياسى بعدد لايقل عن 20 دمكه أو 30 دمكه فى حالة الإسطوانه ذات القطر 100 مم أو 150 مم على الترتيب بحيث لايحدث نزيف فى حالة الخرسانه عالية التشغيليه آ .

ثانياً : تجهيز سطح الإسطوانه العلوى لمقاومة الضغط .

1 ـ أثناء صب الإسطوانه :

ـ يتم ملأ الإسطوانه مع ترك مسافه من 3 مم الى 6 مم وبعد فتره صغيره يتم تخشين السطح .

ـ يتم تجهيز مونه أسمنتيه ورمل ناعم غنية (بنسبة1 : 2) 0

ـ نملأ مكعبات مساحة سطحها 5000 مم2 بالمونه الأسمنتيه .

ـ يزال الماء الزائد على سطح الإسطوانه بأسفنجه .

ـ توضع المونه وتملأ الإسطوانه بحيث يكون سطحه محدب فى منتصف الإسطوانه .

ـ يتم دهان لوح من الزجاج بزيت ويوضع اللوح أعلى الإسطوانه ويضغط علية مع تعريضه للدوران بحيث يتم تنعيم السطح .

ـ عند إختبار الإسطوانه يجب إختبار مكعبات مونه الأسمنت فى الضغط والتأكد أن مقاومة المونه أكبر من مقاومة الخرسانة المتوقعه .

2 ـــ تجهيز السطح العلوى للإسطوانه بعد تصلب الخرسانه .

ـــ فى حالة عدم تجهيز السطح أثناء الصب أو أن يكون التجهيز فى حالة الصب غير جيد يستخدم الطرق التالية .

2 ـــ 1 بإستخدام مونه أسمنتيه .
ـــ يتم تخشين سطح الخرسانه العلوي.
ـــ توضع الإسطوانه على سطح أفقى تماماً .
ـــ يثبت طوق صلب بالإسطوانه الخرسانيه وتكون حافته العليا أفقياً وفوق أعلى سطح الخرسانه .
ـــ يتم الصب بالمونه الأسمنتيه الغنيه السابق ذكرها والتسويه كما فى التجهيز أثناء الصب

2 ـــ 2 التسوية بالكبريت :
ـــ يتم إستخدام الكبريت والرمل الناعم السليسى بنسبة 1 : 1 بالإضافة لـــ 1ـــ2 % كربون أسود ويتم التسخين فى درجة حراره من 130 – 150 درجة مئويه مع التقليب حتى يكون الخليط سائل ومتجانس .
ـــ يستخدم جهاز التسوية الذي يكون محوره رأسى وله قاعده سفليه على هيئة وعاء يملأ بالكبريت وتوضع الإسطوانه بحيث تكون رأسية بالإستعانه بالدليل الرأسى وبعد تصلب طبقة الكبريت تقلب الإسطوانه على الوجهه الآخر من الإسطوانه .
ـــ تملأ مكعبات مساحة مقطعها 50 سم2 بالكبريت وتختبر تلك المكعبات فى الضغط قبل إختبار الإسطوانات الخرسانية للتأكد من أن مقاومة الكبريت أكبر من مقاومة الإسطوانه

ثالثاً : الإختبار :
ـــ عند عمر الإختبار المطلوب يتم تجهيز الإسطوانه للإختبار .
ـــ توضع الإسطوانه فى مركز لوحى ماكينة إختبار الضغط الهيدروليكى (المعايره) .
ـــ يتم التحميل بمعدل تحميل قياسى ونحدد الحمل الأقصى الذى يحدث عنده الكسر (F) (كيلو نيوتن) .

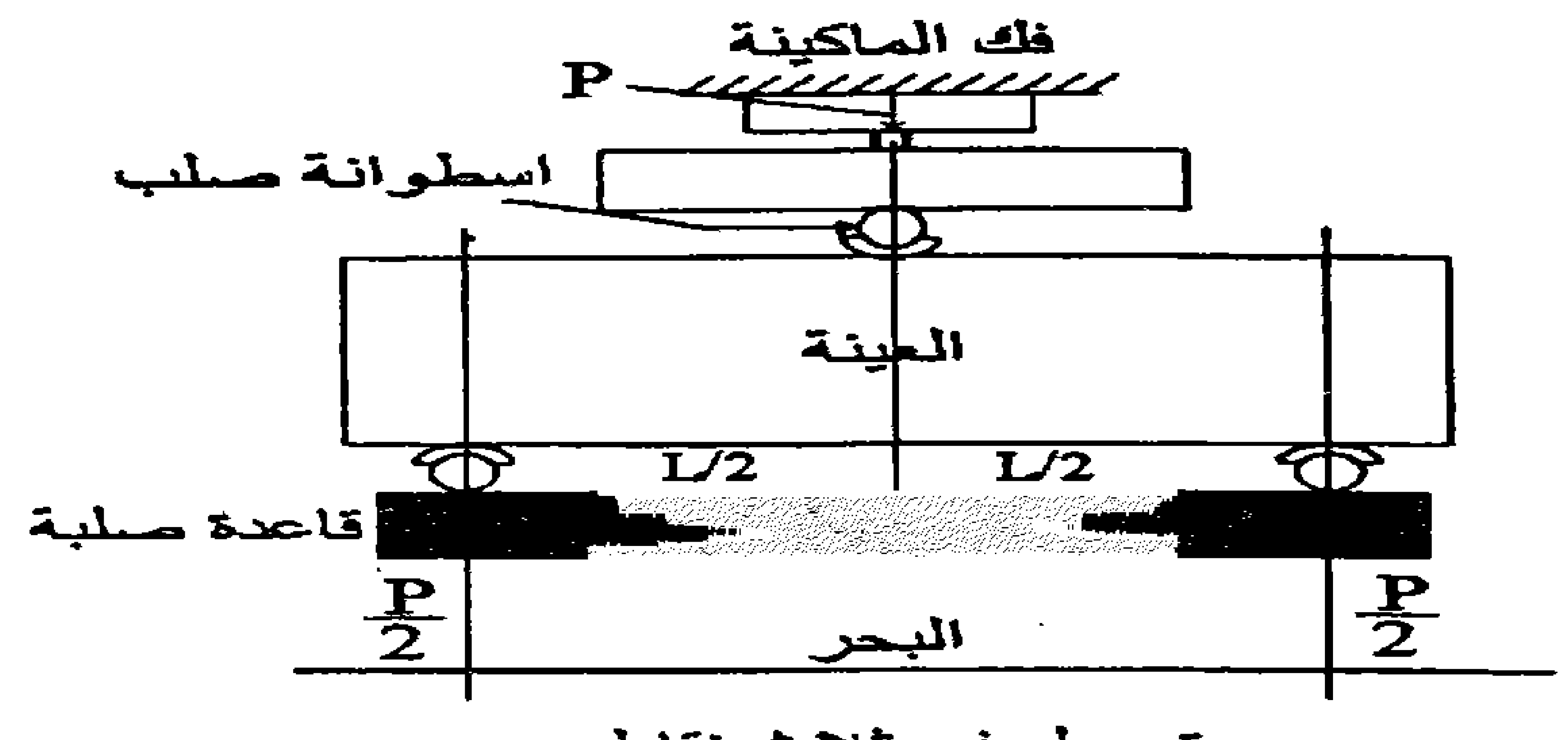
$$\text{ـــ مقاومة الضغط للإسطوانه} = \frac{F}{\text{مساحة الدائره مم}^2} = \text{ن /مم}^2$$

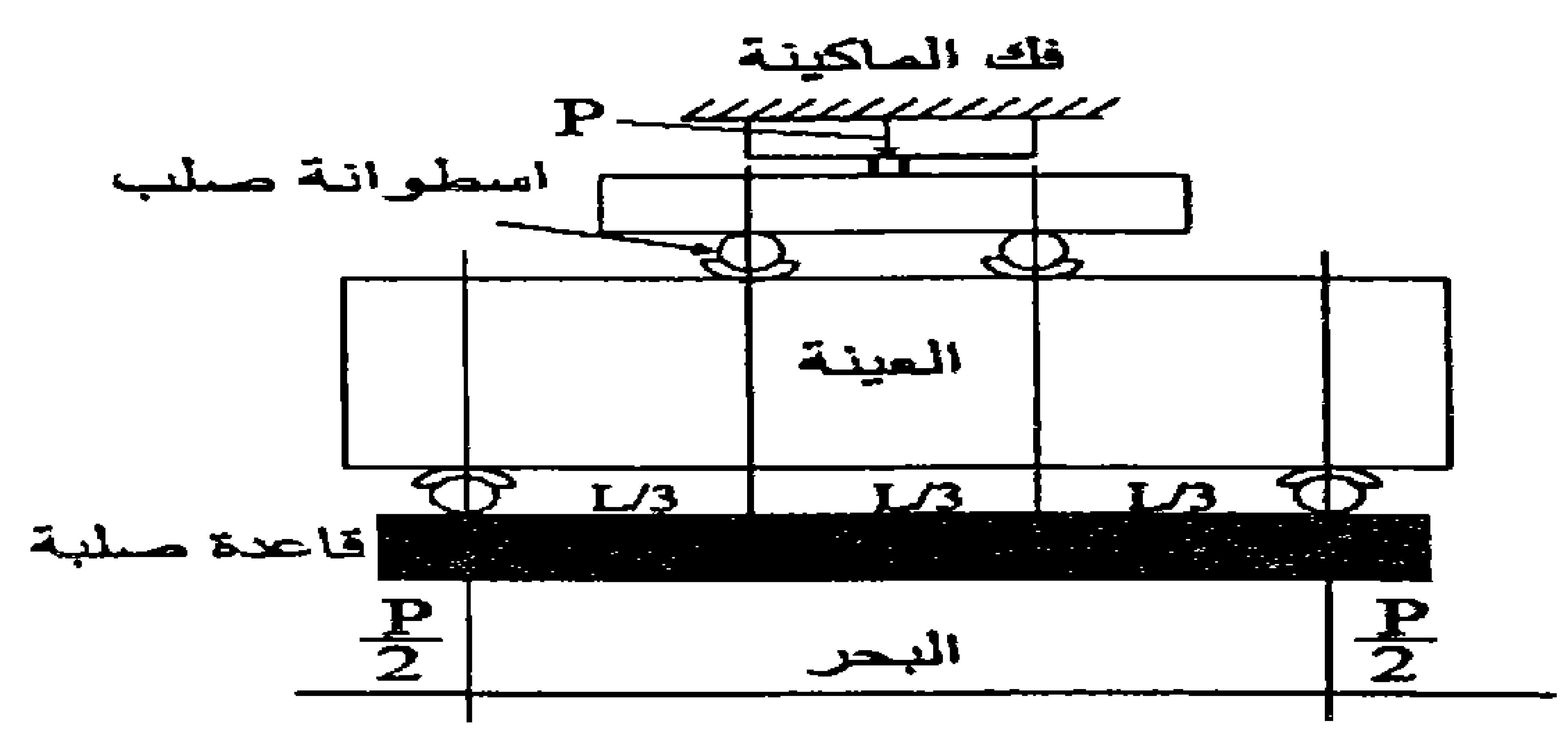
ـــ شكل الانهيار موضح بشكل (10ـــ1).

10ـــ4 طريقة تجهيز وصب كمرات إختبار وتحديد معاير الكسر
Preparation and Casting of beams for Modulus of Rupture Test

ـــ تهدف هذه الطريقه لوصف وتجهيز وصب كمرات خرسانية بأبعاد 100 × 100 × 500 مم طول تستخدم لتحديد معاير الكسر لخرسانه ركامها مقاسه الإعتباري الأكبر للركام 20مم وكمرات بأبعاد 150×150×750 مم لخرسانه ركامها مقاسه 40 مم .
ـــ يتم تجهيز قوالب قياسيه من الصلب أو الزهر وهذه القوالب قياسيه فى أبعادها ومساحتها وإستواء أوجهها وتركيبها وإسلوب تجميعها .
ـــ تؤخذ عينة من الخرسانه الطازجه وتجهيزها فى وعاء بطريقه قياسية .

ـ يتم صب الكمرات على طبقات لايزيد سمكها عن 50 مم وتدمك كل طبقه بقضيب الدمك القياسي بعدد 150 دمكه أو 100 دمكه للطبقه الواحده فى حالة الكمرات ذات المقاس 150 مم و 100 مم على الترتيب ويمكن دمك الكمرات على هزاز حتى ظهور لمعان لطبقة الماء .
ـ يجب وضع الكمرات أثناء صبها على لوح أو طبلية مستوية وأفقيه تماماً .
ـ عند عمر معين يختبر منشور الخرسانه إما بالتحميل فى الإنحناء فى ثلاث نقاط أو تحميل فى أربع نقاط، كما هو مبين بشكل (10ـ2).







شكل الانهيار

شكل (10ـ2) اختبار الانحناء (معاير الكسر) وشكل الانهيار

ـ وكما هو واضح من شكل (10ـ2) فإن الانهيار يحدث بالتشريخ فى قاع الكمـرة نتيجـة إجهادات الشد.

10ـ5 اختبار مقاومة شد الانفلاق للخرسانة (شد الإنفصال) :

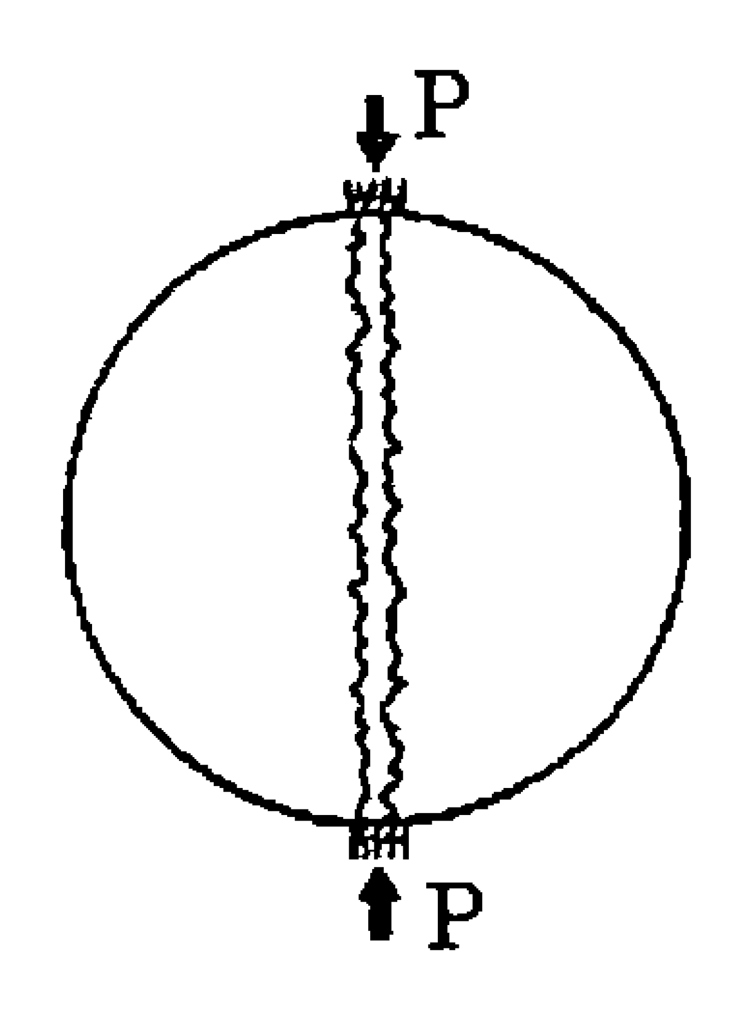
- نظراً لصعوبة إجراء إختبار الشد المباشر نظراً لوجود إجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الاختبار، وكذلك احتمال عدم مركزية حمل الشد، فإنه يتم اللجوء إلى طرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد.
- خطوات الاختبار:

1. تصب الخرسانة المراد تعيين مقاومة الشد لها فى اسطوانات (150*300مـم) ، وتعـالج بنفس طريقة اختبار الضغط.
2. توضع العينات عند اختبارها بين رأسى ماكينة الاختبار بين شريحتين من الخشب الأبلكاج أو المطاط بعرض 2سم.بحيث يتوزع الحمل على راسمها
3. يتم التحميل على العينة تدريجياً حتى الكسر، ويُعين حمل الكسر.

- تحليل النتائج:

$$\text{مقاومة شد الإنفلاق} = \frac{2\text{حمل الكسر}}{\text{ط} \times \text{القطر} \times \text{الطول}}$$

- شكل (10ـ3) يوضح شكل الانهيار فى اختبار شد الانفلاق، حيث تنقسم الاسطوانة إلـى نصفين بكامل طولها نتيجة إجهادات الشد.



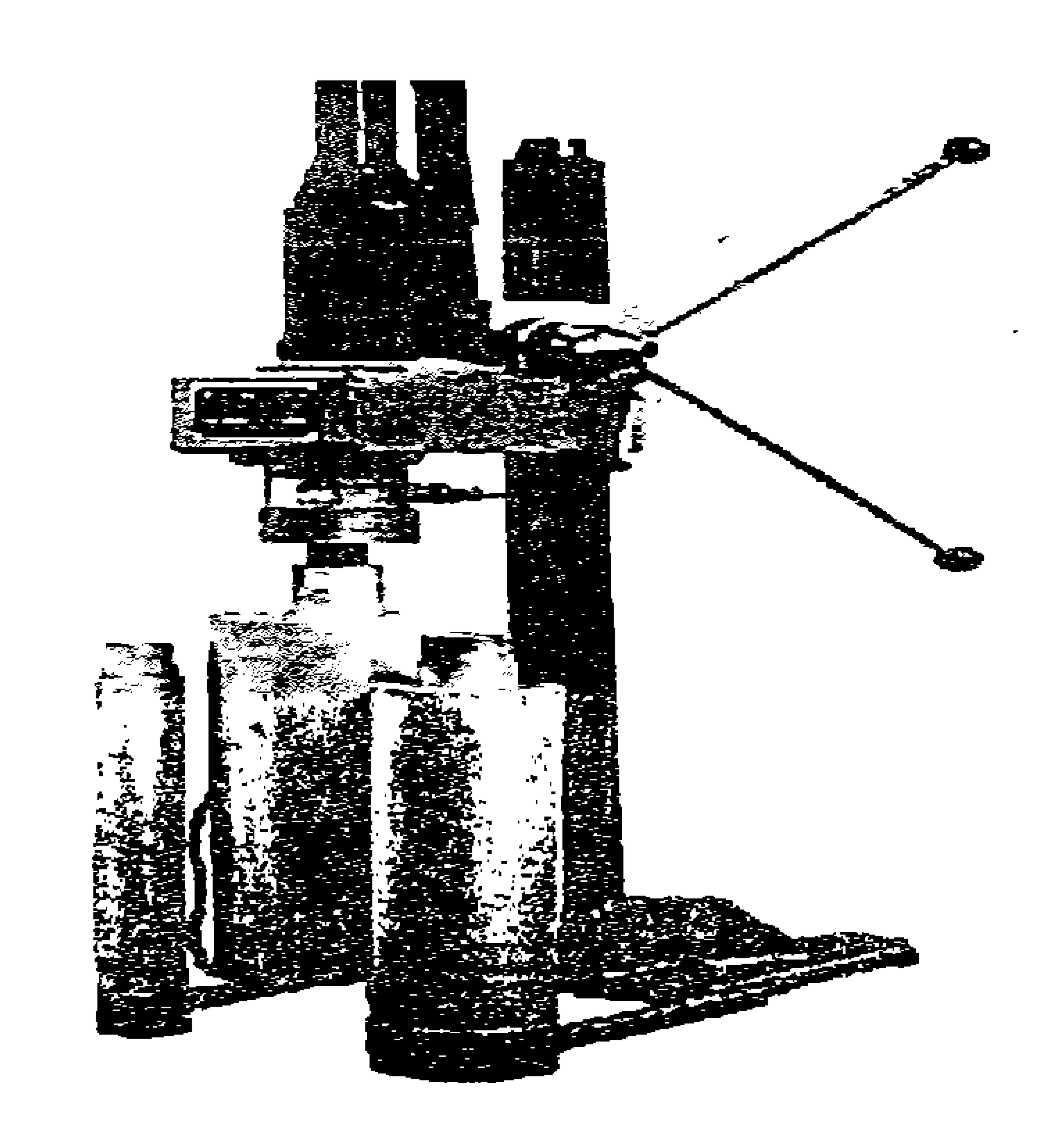
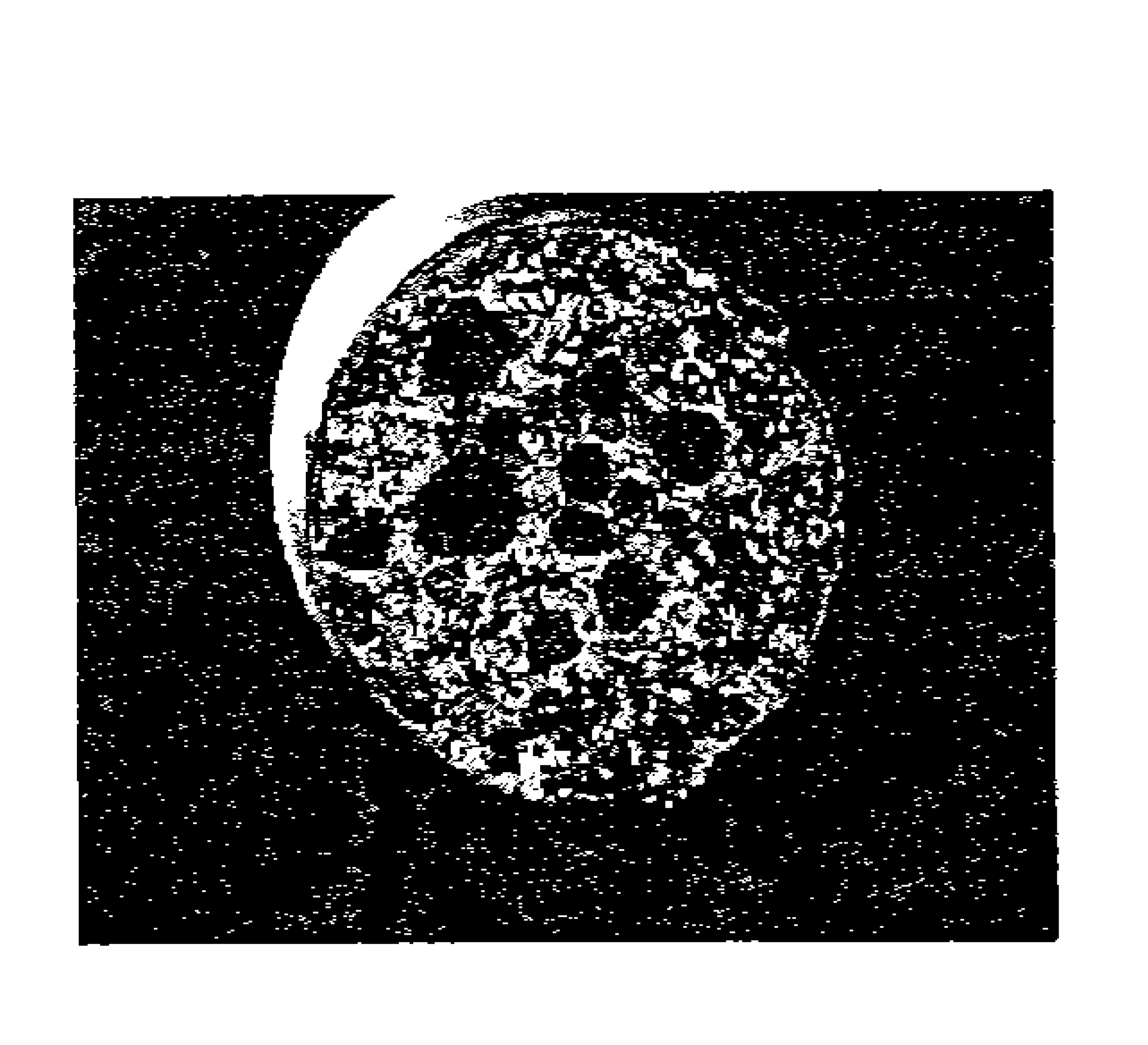
وشكل (10ـ3) شكل الانهيار فى اختبار شد الانفلاق

10ـ6 اختبار القلب الخرسانى:

يستخدم هذا الاختبار لتعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية . ويتم بواسطة اختبار عينة منتزعة من قلب الخرسانة من بعض الأعضاء الإنشائية الأساسية (الأعمدة- الكمرات- البلاطات- الأساسات). وهو اختبار نصف متلف.

- الأجهزة:

تستخدم أجهزة بها اسطوانات ثقب من الماس. والجهاز عبارة عن مثقاب مـزود باسطوانة لها رأس ماسى يدور بسرعة عالية بالكهرباء أوالديزل ليستخرج عينات خرسانية اسطوانية. وشكل (10ـ4) يوضح أحد الأجهزة وتصحبه أسـطوانات قطع بأقطار مختلفة وكذلك أحد عينات الخرسانة المستخرجة.

شكل (10ــ4) أحد أجهزة استخراج القلب الخرسانى وعينة قلب

- حجم العينة:

يعتبر قطر العينة (150مم) هو القطر القياسى إذا كانت الخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء انتزاع العينة من الخرسانة، وقطر 100مم يمكن استخدامة. وطول العينة لا يقل عن 95% من قطرها.

- استخراج العينة:

يجب أن تستخرج العينة عمودية على السطح الموجودة فيه، ويدون رقم العينة ومكانها واتجاه أخذها مباشرة.

- فحص العينة :

تفحص العينات كالتالى:

أ- وصف الركام بالعينة (الحجم- النوع- حالة السطح- الشكل).
ب- توزيع مكونات الخرسانة (تركيز الركام بالنسبة للمونة).
ج- درجة دمك الخرسانة وحجم الفراغات والتعشيش وأماكن وجودها واتجاهها وتحديد أسبابها، .

- قياس العينة:

1ــ القطر المتوسط: يؤخذ عبارة عن متوسط لعدد 6 قراءات، كل قراءتان عند مستوى واحد ومتعامدان، وإحدى القراءتان فى المنتصف وواحدة عند 0.25 من الارتفاع من الناحيتين.

2ــ الطول: يقاس أكبر وأقل طول للعينة بعد استخراجها، ويقاس الطول بعد وضع الغطاء (Cap) على نهايتى العينة إلى أقرب 5 مم.

3ــ التسليح: يقاس موضع أى صلب تسليح من منتصف السيخ حتى نهاية العينة حتى أقرب 2مم، ويحدد قطر صلب التسليح .

- تجهيز السطح (نهايتى القلب):

يتم تجهيز السطح حتى يكون مستوياً تماماً وأفقيً لاستخدامه فى ماكينة الاختبار. يتم ذلك بأى من الطريقتين الآتيتين:

وتستخدم هذه الطريقة للعينات الرطبة التى غمرت بالمـــاء. وتـــتلخص هـــذه الطريقة فيما يلى:

- المونة المستخدمة: الأسمنت ذو النعومة العالية او رتبة 52 مع الرمـــل القياسى (يمر من منخل 0.3مم)، بنسبة 2: 1.
- تصب هذه المونة عن طريق وضع حلقة حول العينة مستوية وأفقية، ثـــم تصب المونة ويسوى سطحها ويوضع فوقها لوح مسطح من الحديد بعد دهانه بالزيت. وفى اليوم الثانى تكرر العملية للطرف الآخر.

2ـ الطريقة الثانية:

وتستخدم هذه الطريقة للعينات الجافة وفيما يلى سيتم توضيح خطـــوات هـــذه الطريقة:

1. يتم وزن جزئين متساويين من الكبريت والرمل السليسى الناعم (يمر مـــن منخل 0.3مم ويحجز على منخل 0.15مم)، هذا بالإضافة إلى 1: 2% من الكربون الأسود.
2. يسخن الخليط لدرجة حرارة 130- 150 درجة مئوية، ثم تتـــرك لتبـــرد ببطء مع التقليب المستمر. ويصب الخليط على مستوى أفقى من الـــصلب الأملس المدهون سطحه بزيت البارافين.
3. توضع العينة فوق المونة رأسياً تماماً. وبعد عدة ثوانى يزال الجزء الزائد حول العينة ومن ثم ترفع العينـــة. وتكـــرر العمليـــة بـــسرعة للطـــرف الأخرويفضل استخدام جهاز التسوية.

- إجراء الاختبار:

يجرى اختبار الضغط لعينة القلب الخرسانى بعد يومين على الأقل من إعـــدادها وغمرها فى الماء. ولا تختبر العينات التى بها شروخ أو عيوب. وتختبر العينات وهى فى حالة رطبة. ويجب الأخذ فى الاعتبار الاحتياطات الآتية:

1ـ تنظيف مكان العينة بالماكينة وأسطح العينة من أى أتربة أو عوالق.

2ـ وضع العينة بحيث ينطبق محورها مع محور الماكينة.

3ـ يوضع الحمل على العينة بمعدل تحميل قياســـى ويـــستمرحتى حـــدوث الكسر.

4ـ يتم عمل وصف لحالة الانهيار.

- تحليل النتائج:

$$\text{مقاومة ضغط العينة} = \frac{\text{حمل الضغط}}{\text{مساحة مقطع العينة المتوسطة}}$$

ويلاحظ أن وجود التسليح بالعينة يؤثر على نتائج الاختبار. وبالنـــسبة للعينـــات الخالية من حديد التسليح يتم حساب المقاومة المقدرة لنتائج مكعبات الموقع طبقاً لما جاء بالمواصفات القياسية المصرية كما يلى:

$$\text{المقاومة المقدره لنتائج مكعبات الموقع} = \frac{\text{د}}{1,5 + \frac{1}{\text{ل}}} \times \text{مقاومة الضغط للعينة}$$

حيث: د = 2.5 لعينات القلب الخرسانى التى تقطع أفقيا (للعناصر التى تكون فى الاتجاه العمودى على الارتفاع الرأسى عند الصب).

د = 2.3 لعينات القلب الخرسانى التى تقطع رأسياً (العناصر التى يكون فيها الارتفاع موازياً لاتجاه الصب).
ل = نسبة الطول بعد تجهيز نهايتى العينة إلى القطر.

وبالنسبة للعينات التى تحتوى على حديد تسليح عمودى على محور القلب الخرسانى، يتم حساب المقاومة المقدره لنتائج مكعبات الموقع بضرب المقاومة المحسوبة من المعادلة السابقة فى معامل تصحيح يتم حسابه على أساس عدد الأسياخ الموجودة بالعينة وقطرها والمسافة بين الأسياخ والنهاية القريبة للعينة كما يلى:

- بالنسبة للعينات التى تحتوى على سيخ واحد.

$$\text{معامل التصحيح} = 1 + \frac{1.5\,\text{ق}_{\text{ح}} \times \text{س}}{\text{ق}_{\text{ع}} \times \text{ع}}$$

- وللعينات التى تحتوى على سيخين لا تزيد المسافة بينهما عن قطر السيخ الأكبر، يؤخذ فى الاعتبار أكبر قيمة ق ح * س لأيهما.
- أما إذا زادت المسافة بين السيخين عن قطر أكبرهما فيحسب معامل التصحيح كما يلى:

$$\text{معامل التصحيح} = 1 + 1.5 \frac{3\,\text{ق}_{\text{ح}} \times \text{س}}{\text{ق}_{\text{ع}} \times \text{ع}}$$

حيث: قح قطر سيخ الحديد.

قع قطر عينة القلب الخرسانى.

س المسافة بين محور سيخ الحديد والنهاية القريبة.

ع ارتفاع عينة القلب الخرسانى بعد معالجة نهايتها.

- القبول:
  - أولاً يتم إختبار ثلاث عينات للخرسانة المراد اختبارها.
  - تعتبر العينة مقبولة إذا كانت مقاومة الضغط لا تقل عن 75% من المقاومة المميزة المطلوبة.
  - لاتقل المقاومة الدنيا للعينات عن 65% من المقاومة المميزه المطلوبة .
  - إذا لم يتحقق ذلك يجرى اختبار تحميل.

10ـ7 مطرقة الارتداد Shmidet Hammer

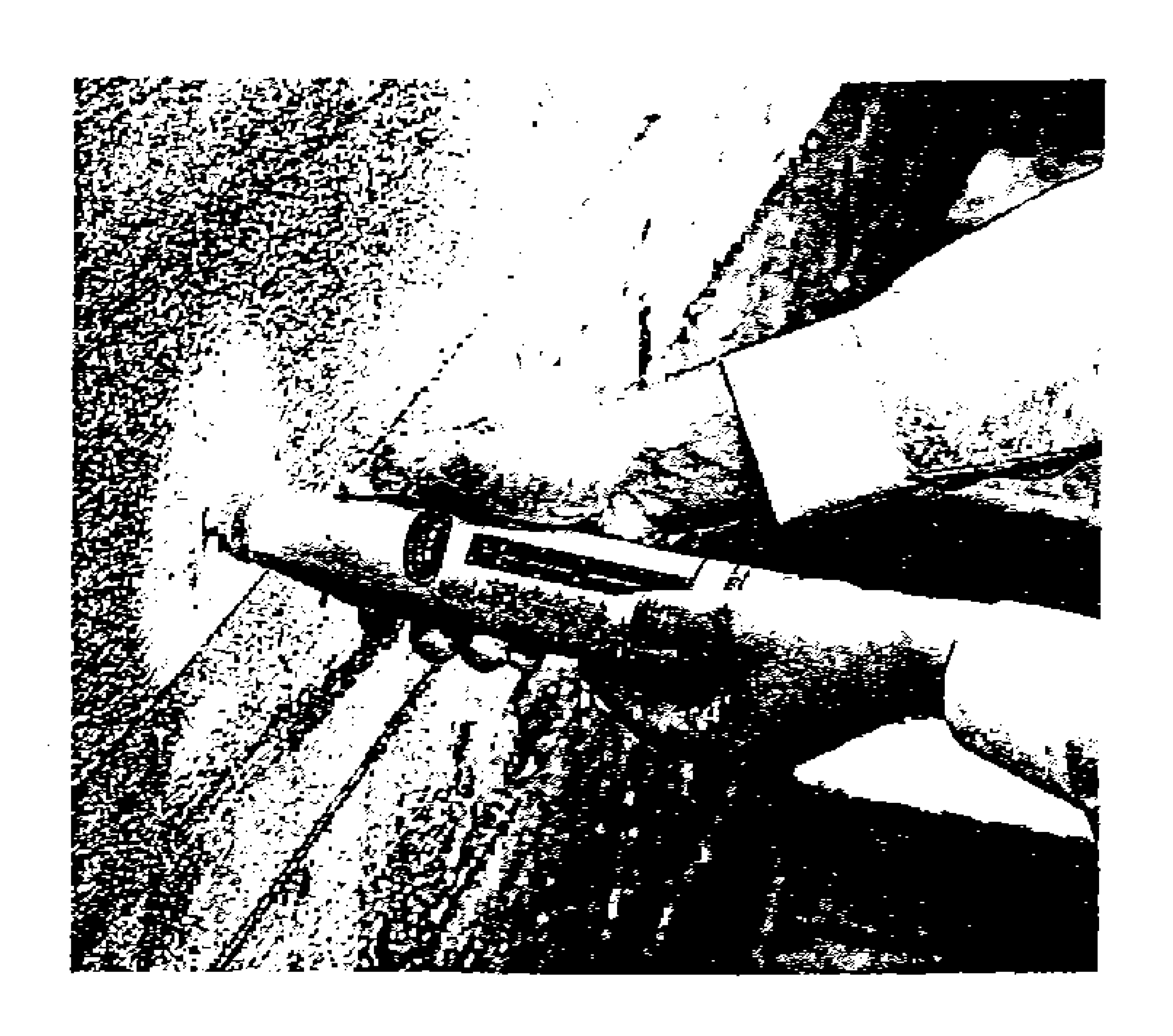
وتستخدم ذلك الاختبار لتعيين قيم تقريبية لمقاومة الخرسانة عن طريق رقم ارتداد كتلة مرنة ذات وزن قياسى تصدم السطح الخرسانى عمودياً عليه بطاقه ابتدائية محدده حيث يعتمد ذلك الرقم على صلادة ومقاومة السطح الذى تصدمه. وتتميز تلك المطرقة بمميزات عديدة أهمها سهولة حملها وسهولة استخدامها وتعطى نتائج سريعة يمكن الاعتماد عليها فى تعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة اذا توافرت منحنيات المعايرة المناسبة لتحويل رقم الإرتداد الى مقاومة ضغط . ويستخدم هذا الإختبار كإختبار ضبط جوده للتحقق من تقارب مقاومات الأعضاء المختلفه للمنشأ . ولا يستخدم هذا الإختبار كإختبار قبول أو رفض للمنشأ ولايغنى عن نتائج اختبار العينات فى الضغط والمأخوذه عند الصب ولايغنى عن استخدام اختبار قلب

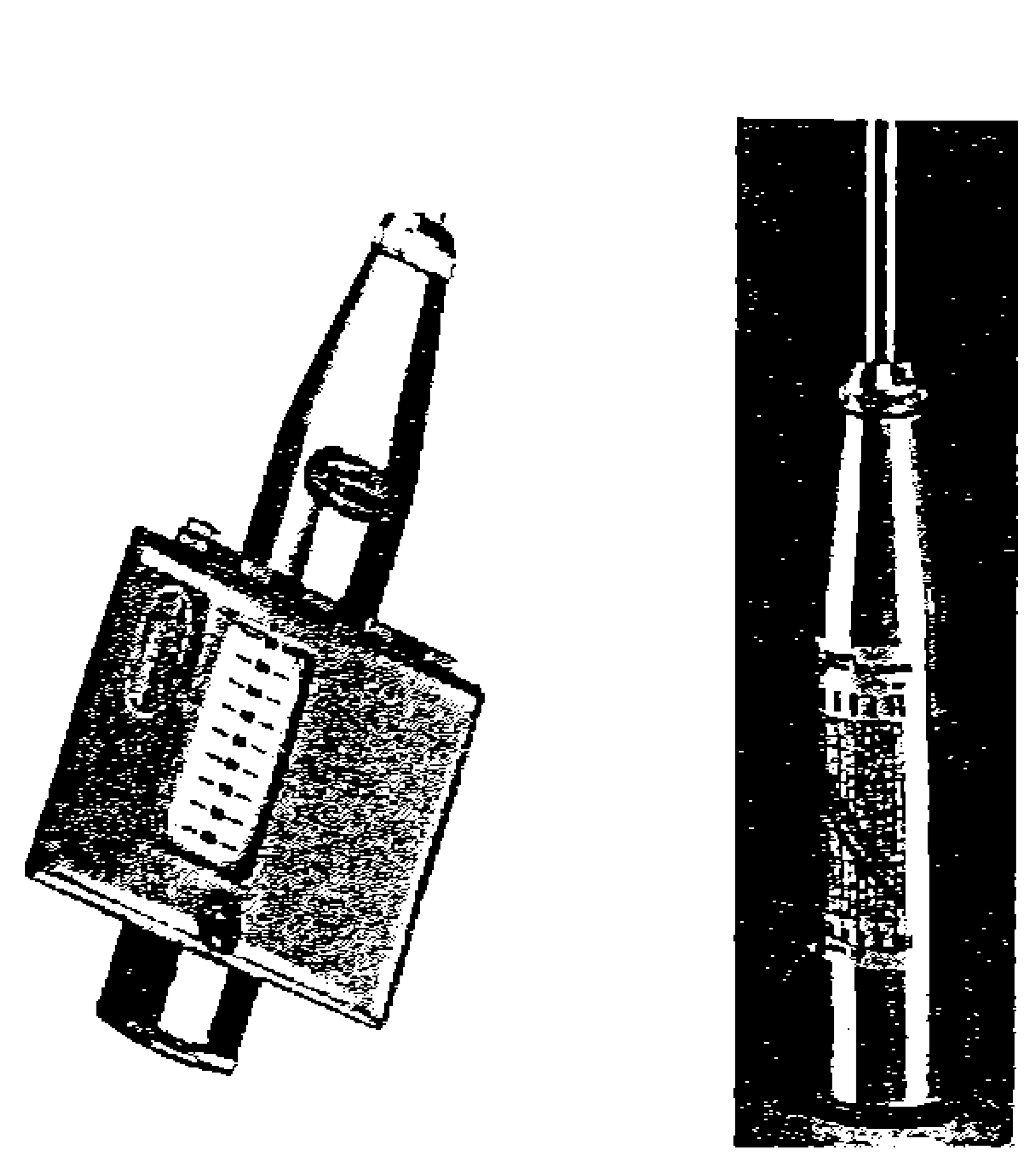
الأعضاء المختلفه للمنشأ . ولا يستخدم هذا الإختبار كإختبار قبول أو رفض للمنشأ ولايغنى عن نتائج اختبار العينات فى الضغط والمأخوذه عند الصب ولايغنى عن استخدام اختبار قلب الخرسانة وانما يعتبر اختبار مساعد بجانب اختبار الضغط أو اختبار قلب الخرسانة أو معهما لأن عدد العينات يكون محدود .

ويمكن تلخيص الطريقة الصحيحة لاستخدام الجهاز فيما يلى:

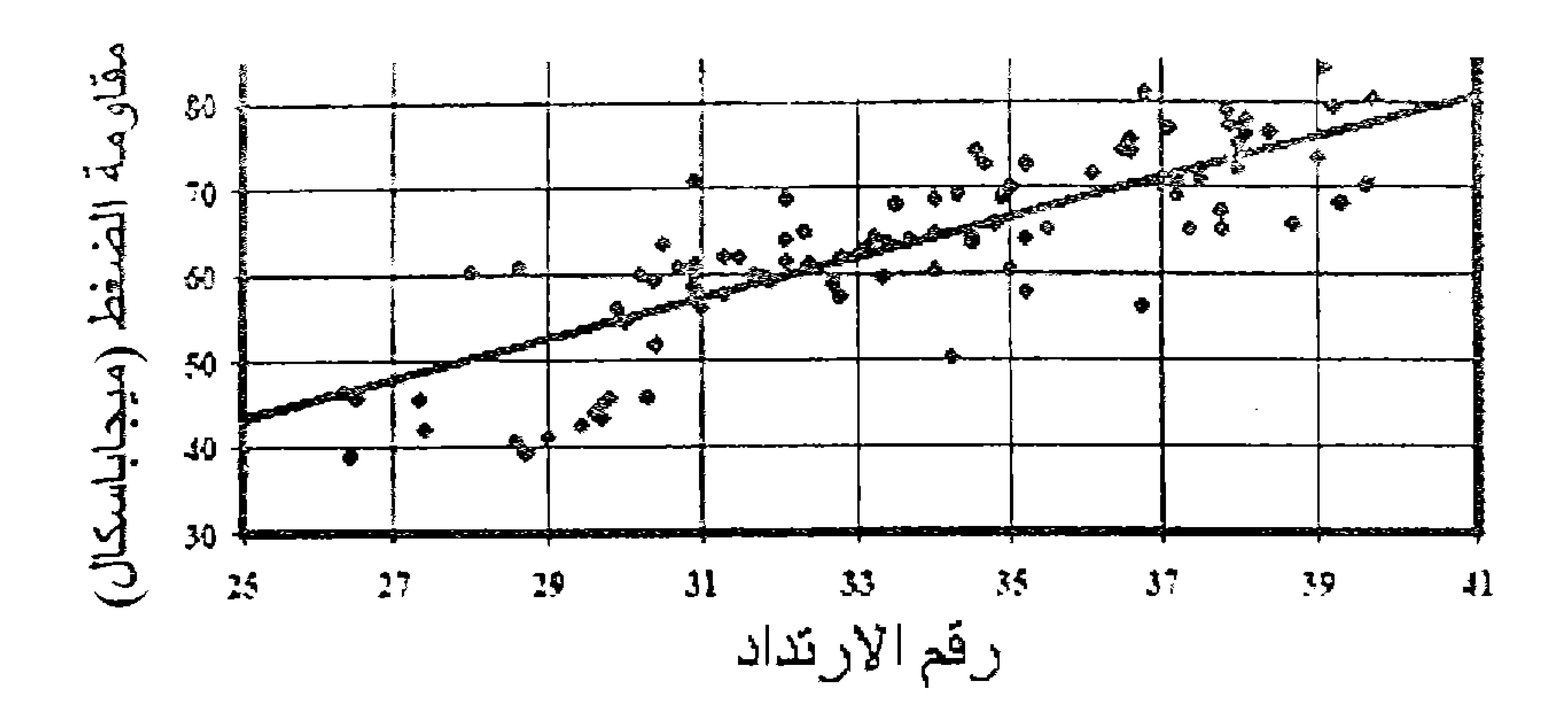
1. ينظف سطح الخرسانة المراد اختبارها بالحجر الموجود مع الجهاز ويتم تنظيف السطح وازالة المواد الضعيفه وبقايا الشدات الخشبية .
2. يُفتح الجهاز بحيث تخرج الرأس المتحركة من الجهاز.
3. يوضع الجهاز عمودياً على السطح المراد اختباره، ويضغط عليه حتى يسمع صوت الصدم الناتج من الجهاز.
4. يُقرأ رقم قيمة الارتداد من على التدرج الموجود على الجهاز.

ولا يُعتمد على قراءة واحدة فقط لتعيين مقاومة الخرسانة، لذلك لابد من إعادة الاختبار عدة مرات فى أماكن مختلفة للوصول للقيمة الأكثر احتمالاً لمقاومة الخرسانة (تؤخذ 12 قراءه على الأقل عند كل عنصر) . ويجب عمل التصحيحات اللازمة إذا استخدم فى أوضاع مائلة، وذلك باستخدام المنحنيات المرفقة مع الجهاز. ويجب الأخذ فى الاعتبار أن المنحنيات المرفقة مع الجهاز تم عملها عن طريق نتائج تجريبية لخرسانات تم اختبارها فى البلد المصنوع فيها الجهاز. لذلك لابد من عمل معايرة لها على الخرسانات المستخدمة فى الموقع، وذلك بالاستعانة بنتائج المكعبات أثناء المشروع، حيث يفضل قبل كسر المكعبات أن يتم وضعها فى ماكينة الاختبار والتأثير بحمل ابتدائى عليها ثم باستخدام مطرقة الارتداد يعين رقم الارتداد. وعن طريق استخدام نتائج مكعبات الموقع ورقم الارتداد المناظر يمكن رسم علاقة أقرب ما يكون للصحه تربط بين رقم الارتداد ومقاومة الخرسانة ويمكن التحقق من كفائة الجهاز بإستخدام سندان المعايره الموجود لدى المورد أو مكاتب المعايرة للأجهزه.





شكل (10ــ5) الجهاز وطريقة استخدامه والعلاقة بين رقم الارتداد ومقاومة الضغط لأحد الأجهزة.



شكل (10ــ5) أمثلة لجهاز مطرقة الارتداد وحساب المقاومة من رقم الارتداد

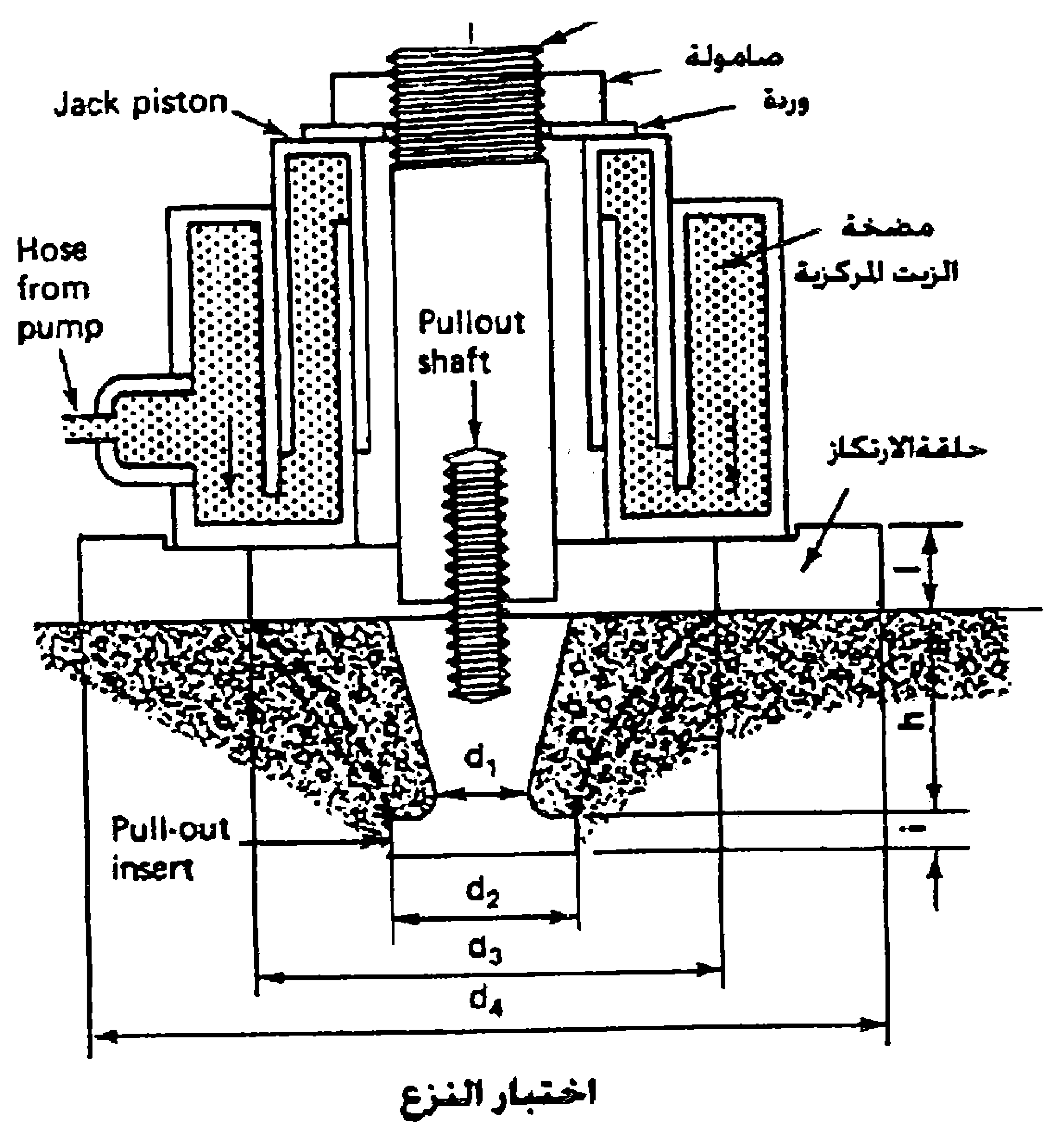
10ــ8 اختبار النزع:

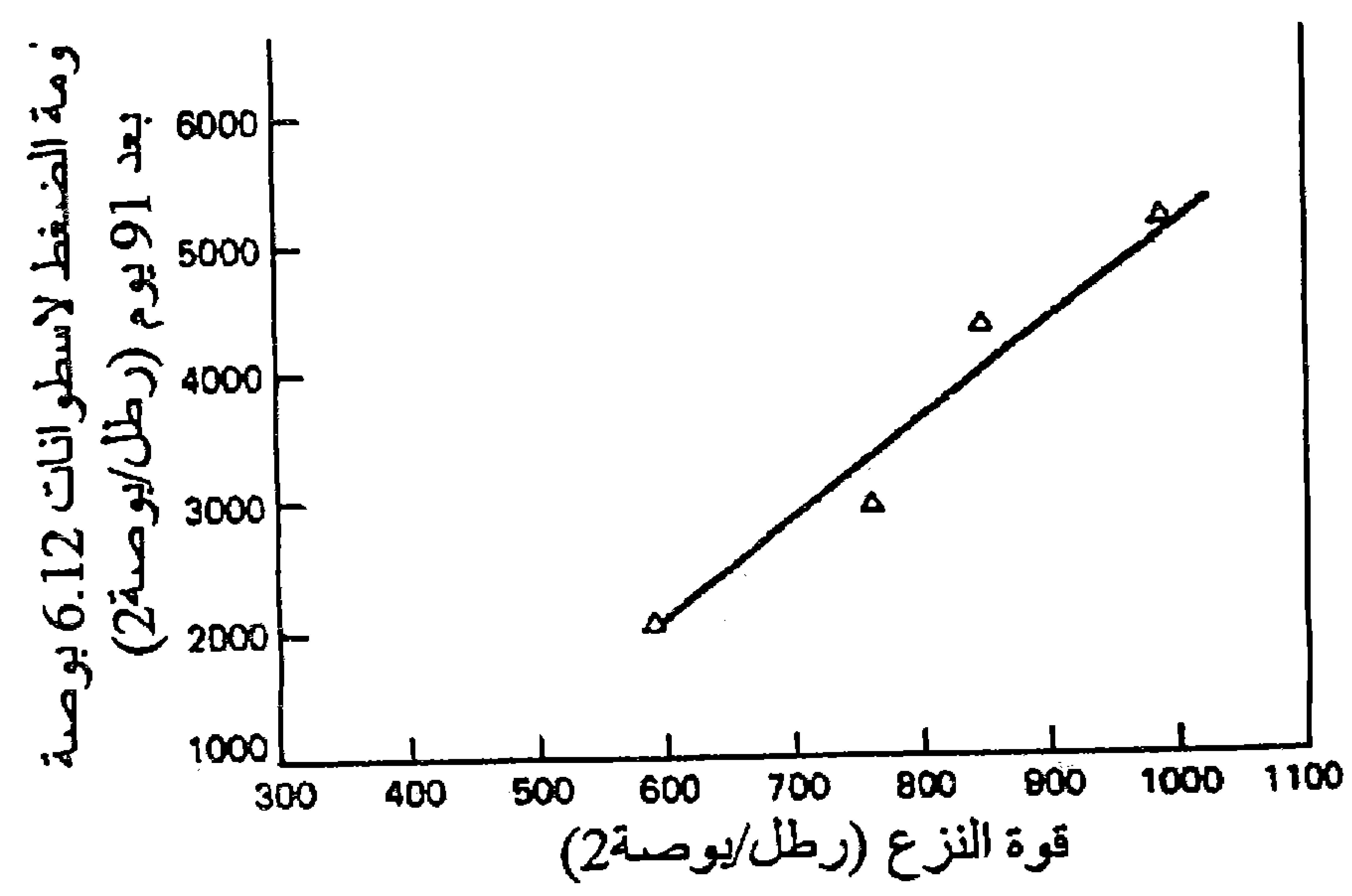
وشكل (10ــ6) يوضح طريقة إجراء الاختبار ومثال لمنحنى لأحد الأجهزة لتحديد مقاومة ضغط الخرسانة باستخدام هذا الاختبار.ويتم وضع المسامير فى الشدات ويتم الصب عليها وعند عمر معين يتم نزع المسمار. ونحدد قوة النزع وباستخدام منحنى المعايرة نحصل على مقاومة الضغط.

10ــ9 اختبار سرعة قياس النبضات فوق الصوتية فى الخرسانة
Measurement of ultrasonic Pulse velocity in concrete

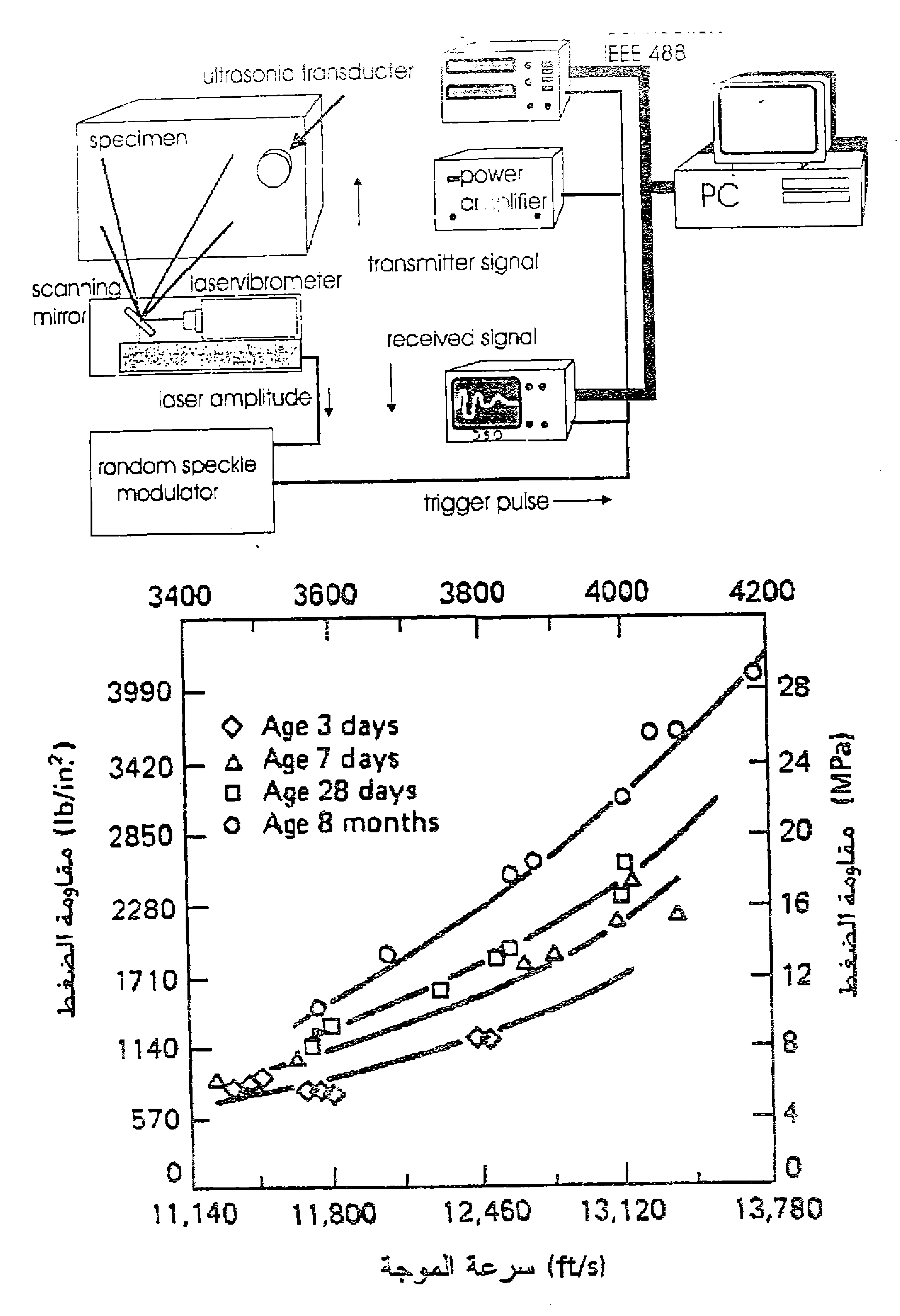
تستخدم هذه التجربة لقياس سرعة انتقال النبضات فوق الصوتية فى الخرسانة (والتى يحدثها جهاز لإصدار نبضات فوق صوتية وقياس سرعة هذه النبضات بعد انتقالها عبر سمك معين من الخرسانة وتحديد زمن انتقال هذه النبضات فتكون السرعه مساوية للمسافه مقسومة على الزمن . وفكرة هذا الجهاز هى أنة كلما كانت الخرسانه كثيفه ومقاومتها عالية تزيد سرعة النبضات ولذلك يمكن حساب مقاومة الخرسانه مباشرة من قوانين تكون مصاحبة للجهاز ويمكن كذلك تحديد معاير مرونه الخرسانة ونسبة بواسون بإستخدام القوانين الموجوده مع الجهاز ويجب عمل التصحيحيات اللازمة نتيجة وجود صلب التسليح . ويمكن الرجوع لمراجع تفصيلية للاطلاع على تفاصيل الإختبار والقوانين المستخدمة 0 ويستخدم هذا الاختبار كإختبار ضبط جوده للمقارنة بين نتائج الأعضاء الخرسانية ولايستخدم كإختبار رفض أو قبول المنشآت الخرسانية ويمكن استعماله مع قدر من التقريب للتأكد من وجود فجوات بداخل الخرسانة أو شروخ سطحية.

وشكل (10ــ7) يوضح صورة أحد الأجهزة المستخدمة فى هذه التجربة ومنحنى يربط بين سرعة النبضات ومقاومة ضغط الخرسانة.





شكل (10ـ6) اختبار النزع



شكل (10–7) أحد أجهزة النبضات فوق الصوتية

10–10 تجربة تحميل العناصر والمنشآت الخرسانية

ـ يجرى هذا الإختبار على أعضاء الإنحناء اذا فشلت اختبارات مقاومة الضغط واختبار قلب الخرسانة وقد يطلبها المهندس الإستشارى أو المالك للتحقق من جوده المنشأه ومطابقته للتصميم

ـ تجهز أوزان مثل اكياس الرمل أو الأسمنت بحيث يكون الوزن الواقع على المتر المربع = 0.85 (1.2 الأحمال الحيه + 1.4 أحمال التغطيه + 0.4 الحمل المكافئ لوزن العضو)

ـ يتم صلب المنشأ جيداً بحيث يمنع الإنهيار انظر شكل (10-8) ويتم تركيب مقاييس الهبوط وأخذ قراءتها .

ـ يتم التأثير بالحمل الكلى على أربعة تحميلات متساوية ويتم قراءة الهبوط بعد التحميل وحتى تثبت القراءه ويجب رص الأحمال بحيث نترك فواصل بينها لمنع التأثير العقدى .

ـ تؤخذ قراءات الهبوط (سهم الإنحناء) بعد مرور 24 ساعة وكذلك سمك الشروخ .

ـ يتم رفع الحمل كاملاً وبعد رفع الحمل بـــ 24 ساعه يتم قياس سهم الإنحناء وعرض الشروخ .

ـ الحكم على نجاح التجربه :

(1) يتم حساب الهبوط المسموح به النظرى Δmax .

$$\Delta max \le \frac{L^2}{2000}$$

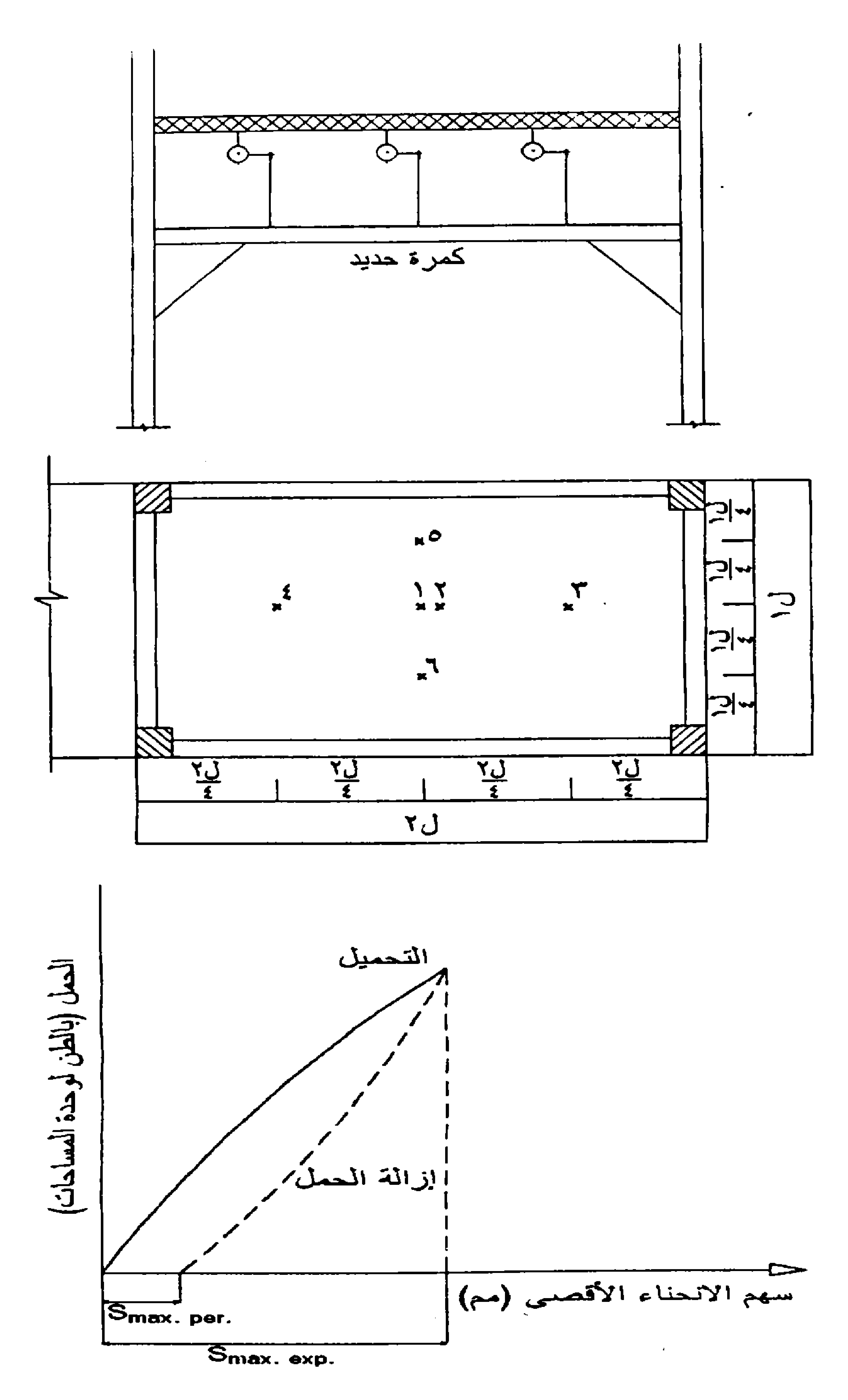
حيث L بحر الكمره أو البحر الأصغر للبلاطة بالمم وتساوى ضعف بحر الكابولى الخالص .

ـ يقارن الهبوط الأقصى المحدد من التجربة والذى يجب ألايزيد عن Δmax

ـ فى حالة ما اذا زاد سهم الإنحناء عن Δmax يجب ألا يقل الجزء المسترجع من الهبـــوط عن 75% من سهم الإنحناء المحقق من التجربة شكل (10-8) وفى تلك الحالة تكون التجربة ناجحه بشرط أن يكون سمك الشروخ مسموح به .

2 ـ فى حالة فشل الشروط السابقه يتم إعادة التجربة بنفس الخطوات السابقه بعد مرور 72 ساعه من رفع الحمل ويعتبر المنشأ أو العنصر غير مقبول اذا فشل العضو فى اســـتعادة 75 % من سهم الإنحناء الذى حدث فى التجربه الثانية أو أن يكون سمك الـــشروخ أكبـــر مـــن المسموح به .

وشكل (10ـ 8) يوضح كيفية إجراء التجربة ورسم العلاقة بين الحمل والترخيم.



شكل (10ـ8) كيفية إجراء اختبار التحميل

1- Optical microscopy

الميكروسكوبات الضوئيه حيث يتم تصوير الخرسانات عن طريق تسليط الضوء عليها بواسطة عدسات خاصه وتتوقف دقة العمل على نقاء موجات الضوء وجودة العدسات التى تحدد درجة التكبير ومنها :

1-1 – Infra red spectroscopy (electron microscopy)

وفية يتم استخدام الإلكترون الموجه لعمل الصور اللآزمة وهذه الطريقه تعطى درجه كبيرة من التكبير والوضوح وتستخدم لفحص الماده ومنها عدة أنواع .

1-1-1- (SEM) = Scanning electron microscopy.

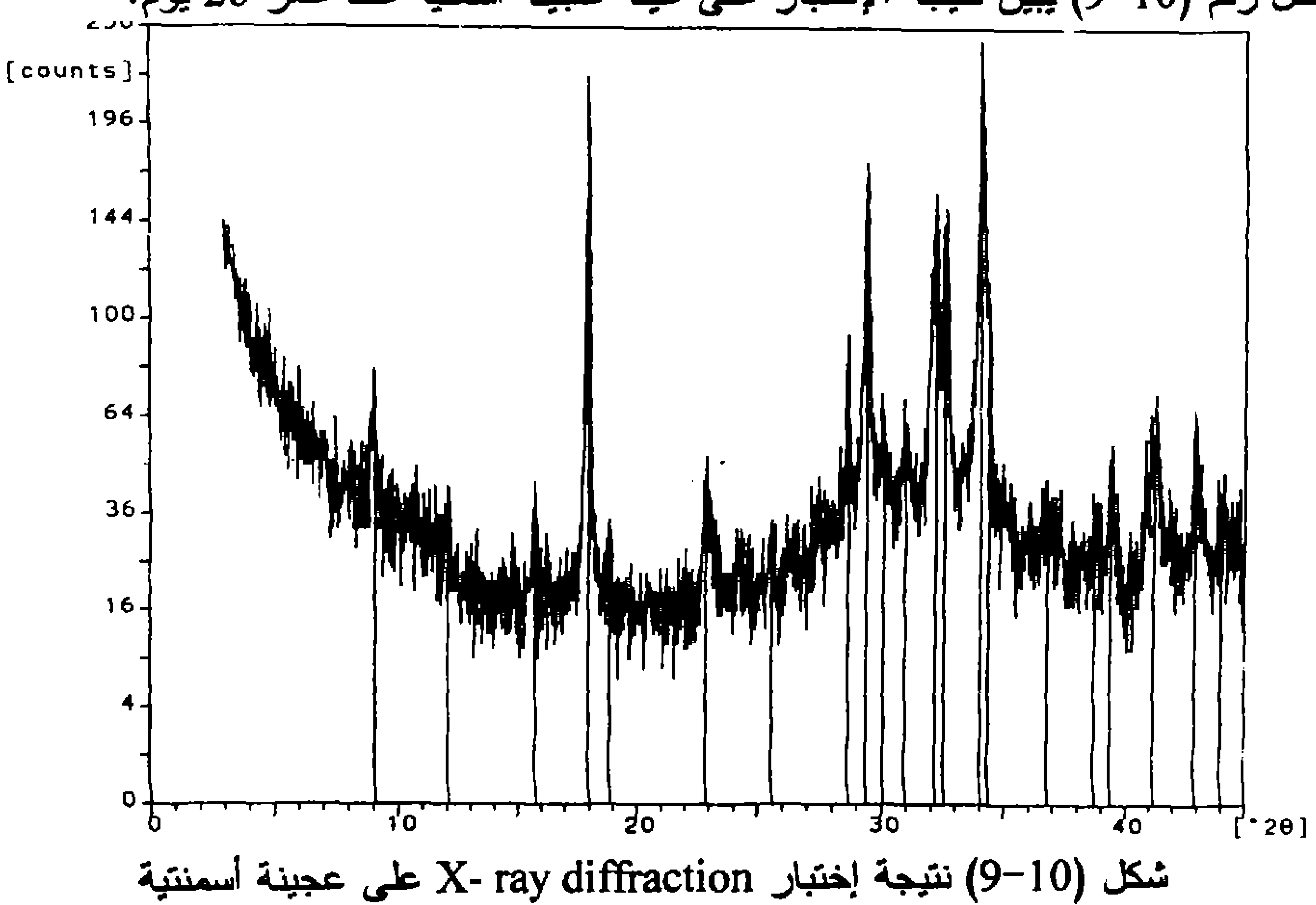
وهو قد يعمل بالإلكترون الموجه بالكهرباء electro static أوالموجه بالكهربيه المغنطيسيه electro magnetic (فيض) وفية يتم أخذ عينة صلبة وتصويرها ، وفى بعض الأجهزه يستخدم من هذا التصوير كذلك للتعرف على التكوين الكيميائى للمادة المختبره بمركباتها ويطلق عليه فى هذه الحاله : X-ray florescence .

1-1-2 – (TEM) Transition electron microscope

وهذا يحتاج لتجهيز العينه من الخرسانه بسمك صغير جداً لذلك فهو غير شائع الإستخدام

2- X- ray diffraction

جهاز يستخدم أشعة (X-Ray) لكى يظهر وجود المركبات المتبلره الداخليه فى التكوين البنائى للماده المختبره أما المركبات الغير متبلره الموجود فى الماده cellular أو ذات التركيب الزجاجى فإنها تظهر على هيئة تموجات ضعيفه ولكل عنصر من العناصر زاويه أنعكاس θ يسجلها الجهاز ويمكن الحكم على المركبات بالمقارنة بين قيمة الإنعكاسات . و شكل رقم (10-9) يبين نتيجة الإختبار على عينة عجينة أسمنتية عند عمر 28 يوم.



شكل (10-9) نتيجة إختبار X- ray diffraction على عجينة أسمنتية

3- (TGA) Thermo gravimetric analysis

وهذا الإختبار يمكننا من قياس درجة الإماهه للأسمنت وكذلك محتوى هيدروكسيد الكالسيوم فى الأسمنت المماه . ويتم حساب هذه القيم كداله فى الفاقد فى وزن العينه بعد التحليل الحرارى . ويفضل استخدام العجينه الأسمنتيه فى الإختبار عن المونه أو الخرسانه حتى لايؤثر محتوى الركام فى العينه على فاقد الوزن .

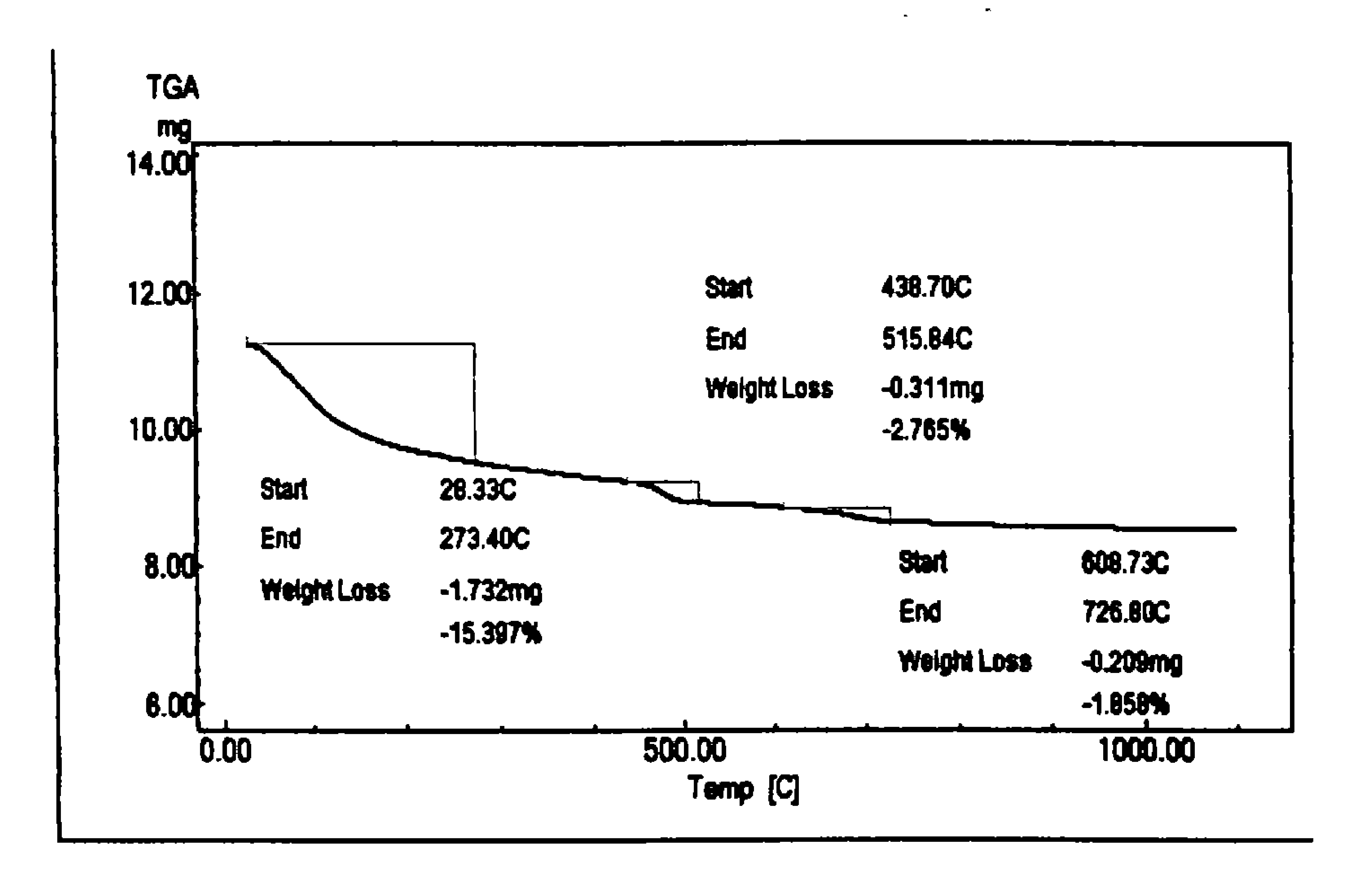
$$\alpha = \frac{Wn(t)}{Mc.Wn}$$

حيث : $Wn(t)$ فاقد الكتله بين درجتى حراره 145 (درجه فقد الماء الغير مماه) ، 1000 درجة مئوية(تحلل مركبات الأسمنت)

و Wn نسبة الماء المستخدم فى الإماهه بالنسبه للأسمنت والذى لايفقد بالتبخير= 0.23 للأسمنت البورتلاندى العادى .

وMc وزن عينة الأسمنت بالحجم الذى إستخدمت فى التجربه.

و الشكل (10-10) يبين نتيجة الإختبار على عينة عجينة أسمنية عند عمر 28 يوم.



شكل (10-10) نتيجة إختبار TGAعلى عجينة أسمنتية

References

1 A. Abdelhakam A., Properties of High Strength Concrete, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1988.

2 A. E. Abdelmoty, Durability of Concrete with Mineral Admixtures, PH.D, Alexandria Faculty of Engineering, 2009.

3 A. M. Neville, Properties of Concrete, Fours edition, Longman Scientific and Technical (1983).

4 A. M. Neville, Properties of Concrete, third edition, Longman Scientific and Technical (1983).

5 A. M. Neville, Some aspects of the strength of concrete, Civil Engineering (London) 54, Part 1, pp. 1153-56 (Oct. 1959); Part 2, pp. 1308-11 (Nov. 1959); Part 3, pp. 1435-9 (Dec. 1959).

6 A. M. Neville, The influence of the direction of loading on the strength of concrete test cubes, ASTM Bul. No. 239, pp. 63-5 (July 1959).

7 A. M. Neville, The relation between standard deviation and mean strength of concrete test cubes, Mag. Concr. Res., 11, No. 32, pp. 75-84 (July 1959).

8 A. R. Collins, The principles of making high-strength concrete, Report of eleven lectures on prestressed concrete given at the Building Exhibition, London, 17th to 30th Nov. 1949 (Cement and Concrete Assoc.).

9 A. R. Cusens, the measurement of the workability of dry concrete, mixes, Mag. Concr. Res., 8, No. 22, pp. 23-30 (March 1956).

10 A.E. Sayed And R. Mohamed, Effect Of Cement Content And Type On The Resistance Of Concrete A.gainist Chemical Attack, Journal Of Engineering Science, Assiut University, 2009.

11 Abd El latif .Elsayed. , "High Performance Concrete with Silica Fume" MS.C Thesis, Faculity of Engineering Alex. University 2009.

12 Abdelkader, Safouh, The Use of Local Aggregates at The North Coast of Egypt in Concrete Manufacture, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1990.

13 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete (ACI 211.1-77), J. Amer. Inst., 66, No. 8, pp. 612-29 (1969); 70, No. 4, pp. 253-5 (1973); 71, No. 11, pp. 577-8 (1974); 74, No. 2, pp. 59-60 (1977), the same committee 2005.

14 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete, (ACI 211. 1-77), J. Amer Concr. Inst., 66, No. 8, pp. 612-29 (1969); 70, No. 4, pp. 253-5 (1973); 71, No. 11, pp. 577-8 (1974); 74, No. 2, pp. 59-60 (1977) , the same committee 2005.

15 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for no-slump concrete (ACI 211.3-75), J. Amer. Concr. Inst., 71, No. 4, pp. 153-70 (1974) , the same committee 2005.

16 ACI Committee 223, "Expansive cement concretes – Present state of knowledge," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 67, No. 8, pp. 583-610, 1970.

17 ACI Committee 223, "Recommended practice for the use of shrinkage compensating cement," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 73, No. 6, pp. 319-339, 1976.

18 ACI Committee 304, "Recommended practice for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 69, No. 7, pp. 374-414, 1972.

19 ACI Committee 305, "Hot weather concreting," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 74, No. 8, pp. 317-332, 1977, the same committee 2005.

20 ACI Committee 306, "Cold weather concreting," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 75, No. 5, pp. 161-183, 1978.

21 ACI Committee 308, " Recommended practice for curing concrete," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 68, No. 4, pp. 233-243, 1971.

22 ACI Committee 347, " Recommended practice for concrete formwork," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 64, No. 7, pp. 337-373, 1967.

23 ACI Commottee 207, Mass concrete for dams and other massive structures (ACI 207.1R-70), J. Amer. Conc. Inst., 67, pp. 273-309 (April 1970) , the same committee 2005.

24 Ahmed Diab ,Abdeleahab Awad, Rasha Tantawy Effect of Coating of Steel on Bond Behavior Under Repetitive Loading, Building materials Colloquium, Cairo, April, 2000.

25 Ah. Diab ,Abd . Awad , H . El yamany , Abd El Moety , Effect of Using FRP Sheet on Flexural Behavior of Concrete Beams , 9 Th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 2001 , Ain – shams university .

26 Ah. Diab ,Abd . Awad , H . El yamany , Abd El Moety , Long Term Flexural – behavior and prediction of Load Deflection Relation of GFRP Strengthened Reinforced Concrete Beams 10 Th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 2003 , Ain – shams university .

27 Ahmed Diab, Properties Of Fibre Reinforced Concrete, Ms.C. Alex. Faculity Of Engineering, 1982.

28 Ahmed Diab, Cement – Alkali – Pink lime stone reaction, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering 1990.

29 Ahmed Diab, Effect of elevated temperature on the properties of crushed lime stone concrete from Beirut area, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering, December, 1990.

30 Ahmed Diab, Effect of plasticizers and super plasticizers on hot weather concreting, Cairo first International Conference on Concrete Structures, Cairo University 1996 .

31 Ahmed Diab , Effect of steel coating on bond strength and long – time flexural behavior , Cairo first International Conference on Concrete Structures, Cairo Unversity 1996 .

32 Ahmed Diab , H. El yamany , The use of Corrosion Inhibitor to Control Corrosion of Ordinary Portland Cement Concrete , 6 Th EL AZHER Engineering International Colloquium , 2000 .

33 Ahmed Diab , H. Elyamany Effect of Corrosion Inhibitor on Mechanical properties of Concrete, Fourth Arab Structural Engineering Conference, 2000 .

34 Ahmed Diab , Sea water concrete durability – Tests and filed study, 7 th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 1996 , Ain – shams university.

35 Ahmed Diab , Shear Strength Of Partialy Prestressed Concrete Beams , Ph.D , Technical University Of Lodz , Faculty Of Engineering And Architecture , 1986 .

36 Ahmed Diab, Structural light weight concrete, First International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering, 1989, Ain – shams university.

37 Ahmed Diab, A need For Strength Durability Factor. 6th Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering, 2007.

38 Ahmed Diab, Sea Water Concrete Durability Tests and Field Study

39 Ahmed Diab,Attack – Finish ability – Life – Performance Criterion, Keynote Lecture , 6Th Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering , 2007.

40 Ahmed EL Erain and Abdel karim, M.Ata "Concrete Technology " Alam El kotop

41 British Standard Specifications, 1973.

42 C. A. Vollick, Effect of revibrating concrete, J. Amer. Conc. Inst., 54, pp. 721-32 (March 1958).

43 Concrete manual, 8th ed., U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1975.

44 Copeland, L. E., and D. L. Kantro, "Hydration of Portland cment," Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 2, pp. 387-419. Cement Association of Japan, Tokyo, 1969.

45 Counto, V. J., "The effect of the elastic modulus of the aggregate on the elastic modulus, creep, and creep recovery of concrete," Magazine of Concrete Research, Vol. 16, No. 48, pp. 129-138, 1964.

46 D. C. Teychenne, R. E. Franklin, and H. C. Erntory, Design of normal concrete Mixes," Building Research Establishment, Transport and Road Research Laboratory, 1975. Reproduced with permission of the Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office.

47 D. C. Teychenne, R. E. Franklin, and H. Erntroy, Design of Normal Concrete Mixes, pp. 31 (Department of the Environments, London, H.M.S.O., 1975).

48 D. J. McNeely and S. D. Lash, Tensile strength of concrete, J. Amer. Concr. Inst., 60, pp. 751-61 (June 1963).

49 D. L. Bloem, Comparison of strength development between Portland cement and Portland Blast-furnace slag cement, Nat. Ready-mixed Conc. Assoc. Publicn. No. 90, pp. 11 (Washington D. C., Oct. 1959).

50 E. C. Higginson, in Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM STP 169A, 1966, pp. 543-555.

51 E.S.S. 1031/1992 White Portland Cement.

52 E.S.S. 1109/1971 Concrete Aggregate

53 E.S.S. 1450/1997 Super Fine Portland Cement (4100).

54 E.S.S. 1658/1998 Sampling of Fresh Concrete in the Field, Slump Test, Compacting Factor, Preparing Cylinder, Preparing Cubes, and Curing of Testing Samples.

55 E.S.S. 1947/1991 Sampling of Cement.

56 E.S.S. 2149/1992 Low Heat Cement.

57 E.S.S. 2421/1993 Testing of Physical and Mechanical properties of Cement.

58 E.S.S. 2797/1995 Super Sulfate Resisting Cement.

59 E.S.S. 3375/1998 Technical Specification for Cement Storage and Dealing with Cement.

60 E.S.S. 373/1991 Ordinary Portland Cement & Rapid Hardening.

61 E.S.S. 4756/2006 Composition, Conditions, Specification of Common Cement Types.

62 E.S.S. 583/1993 Sulfate Resistance Cement.

63 E.S.S. 974/1992 Slag Portland Cement.

64 E.S.S.1899/1990 Water Reducing, Accelerating and Retarding Admixtures.

65 E.S.S.2796/1995 High Slag Cement.

66 Ebrahim El Darwish, Moustafa Shehata, Ahmed Diab , H . Abd El khalqe, Estimation of vertical forces between concrete and sheeting in slip from concreting, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering , December , 1990 .

67 Ebrahim El Darwish , Moustafa Shehata , Ahmed Diab , Hafez Elyamany ,The use of plasticizers and super plasticizers on concrete Military Technical Faculty Colloquium , 1991 .

68 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab , Hosam Ebrahim ,Performance of concrete in marine environment , First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering 1990.

69 Ebrahim El Darwish , Moustafa Shehata , Ahmed Diab , M. Elgelany, Corrosion of steel reinforcement in concrete , Concrete In The Service Of Mankind University Of Dundee, Scotland, Uk 24-26 June 1996 .

70 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab , M. El Sabawy Properties of refractory concrete using Egyptian kaolin , 7 th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 1996 , Ain – shams university .

71 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab , M. Mohamed , Effect of cement type on properties of hard pink lime stone concrete , 2 nd Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering April 1994.

72 Ebrahim Eldarwish and Aly Eldarwish."Concrete, materials Technology, quality control" Monshat El Maavief, Alex Egypt.

73 Ebrahim Eldarwish, "Concrete mixes" Monshat El Maavief, Alex Egypt.

74 Ebrahim T., Slate F.O. And Nilson A.H., "Stress-Strain Response And Fracture Of Concrete in Biaxial Loading", ACI Journal, Vol . 75, July, 1978, PP. 306-312.

75 Egyptian Code for Design And Construction Concrete Structures, , Index Of Tests ,(دليل الإختبارات) Code No 203 , Cairo , 2001.

76 Egyptian Code for Design And Construction Concrete Structures , Code No 203 , Cairo , 2001 .

77 G. E. Monfore, The electrical resistivity of concrete, J. Portl. Cem. Assoc. Research and Development Laboratories, 10, No. 2, pp. 35-48 (My 1968).

78 G. J. Verbeck and C. W. Foster, Long-time study of cement performance in concrete, Chapter 6: The heats of hydration of the cements, Proc. ASTM, 50, pp. 1235-57 (1950).

79 G. L. Kalousek, Abnormal set of Portland cement. Causes and Correctives, Rept. REC. OPC 69-2, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1969.

80 H. C. Erntroy and B. W. Shacklock, Design of high-strength concrete mixes, Proc. Of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, pp. 55-56 (London, Cement and Concrete Assoc., May 1954).

81 Hafez Elyammany, The Use of Plasticizers and Super-Plasticizers in Concrete, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1989.

82 H. Gonnerman and E. C. Shman, Compressive, flexure, and tension tests of plain concrete, Proc. ASTM, 28, Part II, pp. 67-76.

83 H. H. Newlon, Variability of Portland cement concrete, Proceedings, National Conf. on statistical Quality Control Methodology in Highway and Airfield Construction, pp. 259-84 (University of Virginia School of General Studies, Charlottesville, 1966).

84 H. Hansen, A. Kielland, K. E. C. Nielsen, and Yhaulow, Compressive strength of concrete – cube or cylinder? RILEM Bul. No. 17, pp. 23-30 (Paris, Dec. 1962).

85 H. Kasami, Effect of elevated temperature exposure on the properties of concrete, Takenaka Tech. Res. Rept. No. 13, pp. 24-32 (Tokyo, Takenaka Technical Research Laboratory, April 1975).

86 H. Wenander, Concrete Construction, Vol. 20, No. 2, 1975, 40-42, Concrete Construction Publications, Inc. 329 Interstate Road, Addison, II. 60101.

87 I. Ebrahim Eldarweesh, Ali Eldarweesh, Concrete, Its Material, Industry, Quality Control and Repair, Menshat Elmaarif, Alexandria, 1997.

88 Impact And Abrasion Modles Derived from Experimental Data Civil Engineering Research Magazine Faculty Of Eng. El Azhar, 2002.

89 J. C. Marchal, Variations in the modulus of elasticity and Poisson's ratio with temperature, Int. Seminar on Concrete for Nuclear Reactors, Amer. Concr. Inst. Sp. Piblicn. No. 34, 1, pp. 495-503 (1972).

90 J. C. Saemann and G. W. Washa, Variation of mortar and concrete properties with temperature, J. Amer. Conc. Inst., 54, pp. 385-95 (Nov. 1957).

91 J. Moksnes, Concrete in offshore structures, Concrete Structures - Norwegian Inst. Technology Symp., Trondhiem, Oct. 1978, pp. 163-76 (1978).

92 J. W. Mardok and C. E. Keslr, Effect of length to diameter ratio of specimen on the apparent compressive strength of concrete, ASTM Bul., pp. 68-73 (April 1957).

93 K. M. Alexander, J. Wardlaw, and D. J. Gilbert, in The Structure of Concrete, ed. A. E. Brooks and K. Newman, Cement and Concrete Association, London, 1968, pp. 59-81.

94 K. Newman, in Composite Materials, L. Holiday, ed., Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1966, pp. 336-452.

95 Kesler, C. E., "Control of expansive concretes during construction," Proceedings ASCE, Journal of the Construction Division, Vol. 102, No. CO1, pp. 41-49, 1976.

96 Kotsovos M.D., A mathematical Description Of The Strength Properties Of Concrete Under Generalized Stress , Magazine Of Concrete Research , Vol . 31 , No . 108 , September , 1979 , PP. 151-158 .

97 L. E. Copeland and D. L. Kantro, in Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 2, pp. 387-419.

98 L. J. Parrott, The Production and properties of high-strength concrete, Concrete, 3, No. 11, pp. 443-8 (London, Nov. 1969).

99 M . M . Shoeb , Sabry , Moaze , Effect Of Fire And Cooling Mode On The Properties Of Slag Mortars , Cement And Concrete Research (USA) Vol . 31 , 2001 .

100 M. A. S. Sherif, High Strength Concrete in Egypt, How and Why? MSC, Mansoura Faculty of Engineering, 1987.

101 M. Diab, Lap splice of reinforcement steel beams tested in flexure, Ms. C, Alexandria University, Faculty Of Engineering, 2009 .

102 M. Nabwi , Sabry , Moaze , Properties Of Crushed Blast – Furnace Slag Mortars , 6 th Int national Conference For Building And Construction , Cairo , Egypt , June 1999 .

103 M. Polivka and C. Willson, in Klein Symposium of Expansive Cement Concretes, SP-38, American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1973, p. 235.

104 M. S. Abrams, Compressive strength of concrete at temperatures to 1600F, Temperature and Concrete, Amer. Concr. Inst. Sp. Publicn. No. 25, pp. 33-58 (1971).

105 M.M , Shoep , Influence Of Agg. Type On Mortar Thermal Stability, Indian Journal Of Engineering, Materials Sciences , Vol . 7. August 2000.

106 Moustafa Shehata , Ahmed Diab , Ayman El fazany , Impact strength of fibrous concrete , 2 Nd Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering April 1994 .

107 Mahmoud Emam "Concrete, properties, Control, Tests El Mansoura , Egypt .

108 Masaud Alatif, Effect Of Shrinkge Reducing Admixtures On The Properties Of High – Performance Concrete, M.S.C Alex Facuility Of Engineering.

109 Material Staff, Students, High Strength and High Slump Concrete, BSC, Alexandria Faculty of engineering, 1997.

110 Mohamed. T., Permeability Of Concrete, Ms.C. Alex. Faculty Of Engineering, 1994.

111 Mohamed .Kansouh, The Effect Of Constituents And Chemical Additires On The Properties Of Aluminom Silicate Castable Refractories , Ph.D . Institute Of Graduate Studies & Research, Alex University, 1999.

112 Moustafa Shehata "Building materials and tests Faculity of Engineer Alex, Egypt.

113 N. G. Zoldeners, Effect of high temperature on concretes incorporating different aggregates, Mines Branch Research Report R.64 (Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa, Mat 1960).

114 N. Petersons, Ready mixed concrete in Sweden, CBI Reports 5:77, pp. 15 (Swedish Cement and Concrete Research Inst., 1977).

115 New materials in Concrete Construction, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, 1972, p. 13-II.

116 O. Klienger, in New Materials in Concrete Construction, ed., S. P. Shah, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, 1972, p. 10 – VI.

117 Osama El Refaie, Concrete Structures In Arabic Countries Eductional Book Center, Barouit , 1987 .

118 P. Grattan – Bellew, in Proceedings, Fourth International Conference on the Effect of Alkalis in Cement and Concrete, Purdue University, W. Lafayette, Ind., 1978.

119 P. J. F. Wright, The design of concrete mixes on the basis of flexural strength, Proc. Of a symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, pp. 74-6 (London, Cement and Concrete Assoc., May 1954).

120 P. J. F. Wright, The effect of the method of test on the flexural strength of concrete, Mag. Concr. Res., 4, No. 11, pp. 67-76.

121 P. J. F. Wright, The flexural strength of plain concrete – its measurement and use in designing concrete mixes, Road Research Technical Paper No. 67 (London, H.M.S.O., 1964).

122 P. Kumar Mehta, Concrete structures properties and materials, University of California, Burkly, US.

123 R. D. Gaynor, One look at concrete compressive strength, NRMCA publicn. No. 147, pp. 11 (National Ready Mixed Concrete Assoc., Silver Spring, Maryland, Nov. 1974).

124 R. F. Feldman and P. J. Sereda, A model For hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties, Material and Stractures, No. 6, pp. 509-19 (Paris, Nov.-Dec. 1968).

125 R. H. Elvery and J. A. Forrester, Non-destructive testing of concrete, Progress in Construction, Science and Technology, pp. 175-216 (Aylesbury, Medical and Technical Publishing, 1971).

126 R. H. Elvery and L. A. M. Ibrahim, Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages, Mag. Concr. Res., 28, No. 97, pp. 181-90 (Dec. 1976).

127 R. Jones and E. N. Gatfield, Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, DSIR Road ResearchTech. Paper No. 34 (London, H.M.S.O., 1955).

128 R. W. Carlson, D. L. Houghton and Polivka, Causes and control of cracking in unreinforced mass concrete, J. Amer. Conc. Inst., 76, pp. 821-37 (July 1979).

129 R.C. Meiniger, Aggregate abrasion resistance, strength toughness and related properties, ASTM Sp. Tech. Publicn. No. 169B, pp. 657-94 (1978).

130 Rasha El Tantawy Effect Of Epoxy Coating On Concrete Bond Strength, M.Sc ., Alex Faculity Of Engineering, 1999.

131 Road Research, Design of Concrete Mixes, D.S.I.R. Road Note No. 4 (London, H.M.S.O., 1950).

132 S . S .E .Ahmed , M.E.A. ,Salah El Din , Effect Of Silica Fume Addition On The Properties Of Concrete With Different Types Of Cement,Cairo First International Rnference Concrete Structures , January 1996 .

133 S. Thaulow, Tensile splitting test and high strength concrete tests cylinder, J. Amer. Concr. Res., 53, pp. 699-706 (Jan. 1957).

134 S.Shah , S.H.Ahmed , High Performance Concrete And Applications, Firist Edition London And UK , 1997.

135 Schroder, F., " Blastfurance slags and slag cements," Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 4, pp. 149-199. Cement Association of Japan, Tokyo, 1969.

136 Seventh International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering 17-19; December, 1996, Ain – shams university

137 Sidney Mindess , J, Francis Young , Concrete , Prentic .Hall , INC , New Jersey 07632

138 Smith, D. T. "Uniformity and workability," in Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM STP 169B, pp. 74-101. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1978.

139 Standard Annual Book of ASTM Standards, 1916 Race st. Philadelphia 19103, 1982.

140 T. C. Powers, Structure and physical properties of hardened Portland cement paste, J. Amer. Ceramic Soc., 41, pp. 1-6 (Jan. 1958).

141 T. C. Powers, The Physical Structure and Engineering Proper' Concrete, Bulletin No. 90, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1958, and S. Brunauer, American Scientist, Vol. 50, No. 1, 1962, pp. 210-229.

142 Tattersall, G. H., The workability of concrete. Cement and Concrete Association, Wexham springs, Slough, U. K., 1976.


143 U. Bellander, Strength in concrete strength structures, CBI Report 1:78, pp. 15 (Swedish Cement and Concrete Research Inst., 1978).

144 V. M. Malhotra and G. Carette, Comparison of pull-out strength of concrete with compressive strength of cylinders and cores, pulse velocity and rebound number, J. Amer. Concr. Inst., 77, No. 12, pp. 161-70 (1980).

145 Verbeck, G. J. "Pore structure," Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, STP 169B, pp. 262-274. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.

146 Walther R ., The Ultimate Strength Of Prestressed And Conventionally Reinforced Concrete Under The Combined Action Of Moment And Shear , Lehigh University , Fritz Laboratory Report 223.17, October , 1957 .




أساسيات
تكنولوجيا الخرسانة
الأستاذ الدكتور
أحمد محمد محمد دياب
دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد
أستاذ خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية
الحضري للطباعة
Bibliotheca Alexandrina
0918854